

T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

MODÜL 6

ÇEVRE EĞİTİMİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

YAZARLAR
Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ
Uzm. Bahar ÖZAY

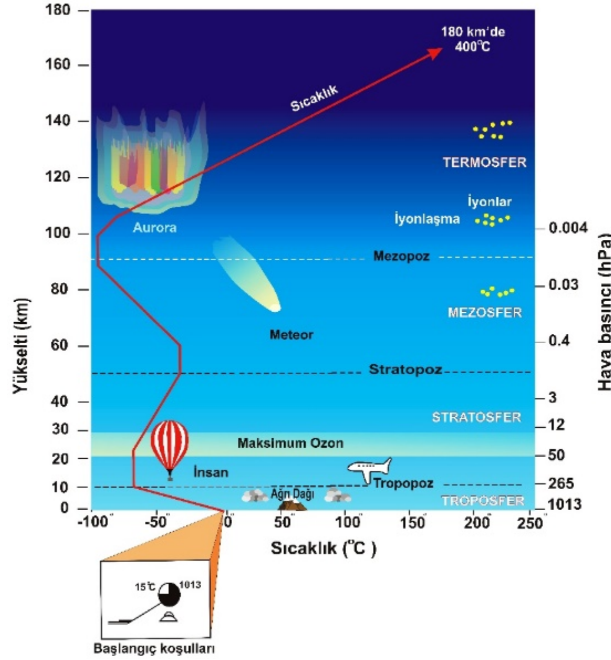
TEMMUZ 2022
ANKARA



1. ATMOSFER, HAVA, İKLİM VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLİŞKİSİ

Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ
Uzm. Bahar ÖZAY

Atmosfer, hava, iklim ve iklim değişikliği kavramları, günlük yaşamda oldukça sık, ama genellikle birbiri ile çok karıştırılarak ya da oldukça yanlış bir biçimde kullanılmaktadır. Bu bölümde, özet olarak sistematik bir sıra ile bu kavramlar birbirleri ile olan ilişkileri de dikkate alınarak tartışılacaktır.



Şekil 1. Atmosfer ve başlıca katmanlarının sadeleştirilmiş gösterimi (Türkeş 2021a ve 2021b'ye göre yeniden çizildi.)

Atmosfer (hava küre), yerküreyi saran ve onun yaşanabilir bir gezegen olmasını sağlayan, çeşitli gazlardan oluşan gaz örtüsü olarak tanımlanır (Şekil 1). Atmosferdeki bulut, yağış ve fırtına oluşumları vb. gibi hava olaylarının büyük bölümü ile atmosferi oluşturan azot (N), oksijen (O_2), argon (Ar) gibi temel gazlar ile su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) gibi başlıca sera gazlarının büyük bölümü ortalama kalınlığı yaklaşık 11 kilometre (km) olan atmosferin en alt katmanı olan troposferde ve yaklaşık 30 km yükseltiye kadar uzanan alt-orta stratosferde bulunur (Şekil 1). Örneğin, atmosferi oluşturan gazların yaklaşık % 90'ı atmosferin yeryüzünden yaklaşık 16 km'ye ve % 99'u ise yeryüzünden orta stratosfere kadar olan bölümünde yer alır (Türkeş, 2021a). Atmosfer, yeryüzünden ısı enerjisi ve nem kazanır ve kazandığı bu enerji ve nemi çeşitli alan ve zaman ölçeklerinde atmosfer dolaşımı ve okyanus akıntıları yoluyla yeniden dağıtır. Bunun sonucunda, kazandığı ısı enerjisinin bir bölümü ve nemin çoğunluğu yeryüzüne döner. Atmosfer ayrıca, karbon, hidrojen, oksijen ve azot gibi yaşamın sürmesi için gerekli olan yaşamsal elementleri de sağlar. Atmosferdeki su; su buharı, sıvı su damlacıkları ve katı buz kristalleri biçemlerinde bulunurken, litosferdeki (kısaca okyanusal ve kıtasal kabuğu içeren taş küre) su, toprağın üst katmanlarında ve yeraltı su depolarında ve haznelerinde (akifer, karstik boşluk, galeri ya da mağaralar, vb.) bulunur.

Atmosfer, yalnız soluduğumuz havayı sağlamaz, aynı zamanda insanı ve öteki canlıları Güneş'in şiddetli kısa dalga boylu ışınımından (radyasyon enerjisi) ve bazı zararlı ışınım türlerinden (ör. morötesi - ultraviyole B ışınımı) de korur. Yerküre ile atmosfer ve atmosfer ile uzay arasındaki sürekli karşılıklı enerji değişimleri, hava olarak adlandırdığımız düzeneği, yani atmosfer olaylarını yaratır (Türkeş, 2021b).



Hava, *herhangi bir yerde ve zamandaki atmosfer koşullarının herhangi bir andaki kısa süreli durumu* olarak tanımlanır. Atmosferin bu bir anlık durumu yani hava, yeryüzünün herhangi bir yerindeki sıcaklık, yağış, nem, güneşlenme, sis, bulut, rüzgâr ve hava basıncı gibi çok sayıdaki değişkenin birlikteliği ile açıklanmaktadır (Türkeş, 2021a). Hava, insanoğlunun ve öteki tüm canlı türlerinin yaşamını doğrudan etkiler. Özellikle insan etkinlikleri, havadaki ani ve şiddetli değişikliklerle kesintiye uğrayabilmektedir. Bilindiği gibi Türkiye, subtropikal kuşak karalarının batı bölümünde gözlenen ve Akdeniz iklimi olarak adlandırılan bir makroklima (büyük iklim) bölgesinde yer almaktadır. Akdeniz iklim bölgesi, hava koşulları açısından hem nemli ılıman ve soğuk kuşağın, hem de subtropikal ve tropikal kuşağın özelliklerini taşır ve bu koşulların ortak etkisiyle belirir. Kışın, ılıman/soğuk kuşağa özgü, cephesel orta enlem alçak basınçlarının oluşturduğu, yağışlı, soğuk, rüzgârlı ve zaman zaman fırtınalı hava koşulları egemendir. Yaz mevsiminde ise sıcak kuşağa özgü; sıcak, kurak ve sakin hava koşulları egemendir. Bahar mevsimlerinde, her iki büyük iklim kuşağına özgü hava koşulları da etkili olabilmektedir.

Hava olayları, insanın günlük etkinliklerini çeşitli yollarla etkilemektedir. Bazen insanlar, çoğunlukla bilinçsiz de olsa, giymek için seçtikleri giysi türleri nedeniyle, atmosfere ve onun içerisinde gerçekleşen olaylara bir şekilde karşılık vermektedir. Başka zamanlarda ise, "Bugün şemsiye taşıyacak mıyım?" ya da "Bugün kazak giyersem, terler miyim?" gibi soruların yanıtları konusunda bilinçli kararlar vermek zorunda kalırlar. Pencereden dışarıya bir bakış, havanın o anda yağışlı ya da güneşli olup olmadığı konusunda genel bir izlenim vermesine karşın, o günlerde nemli ya da kurak bir mevsimin (yazın ya da kışın, ilkbaharın) yaşanıp yaşanmadığını söylemez.

Bu yüzden **iklim**, genel olarak, *yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin yanı sıra, bu olayların yaşanma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen uç değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik çeşitlerinin bireşimi* olarak tanımlanır (Türkeş, 2020a). Görüldüğü gibi, çağdaş iklim tanımı, gözlenen uç ya da aşırı değerleri (ekstremleri) ve tüm istatistiksel değişkenlik biçimlerini de içerir. Örneğin, kışların sert geçtiği bir yerde, soğuk bir kış mevsimini, ılık bir kış mevsimi izleyebildiği gibi; yaz kuraklığı normal bir iklim özelliği olarak kabul edilen bir yerde (ör. Akdeniz iklim bölgesinde), bir sonraki yıl nemli ve serin bir yaz mevsimi yaşanabilir. Yıllık ortalama yağışların fazla olmadığı yarıkurak bir iklim bölgesinde ise şiddetli bahar yağışları sonucunda, yıllık ortalama yağış tutarına yakın bir yağış birkaç günde düşebilir.

İklim değişikliği, çok genel bir yaklaşımla, *nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki geniş ölçekli (küresel) ve önemli bölgesel ya da yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler* olarak tanımlanır (Türkeş, 2020b). **İklim değişikliği**, *konunun bilimsel ve teknik özellikleri dikkate alınarak, iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler olarak* da tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal iç süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli antropojen (insan kaynaklı) değişiklikler nedeniyle oluşabilir. Konuyla ilgili bilinmesi gereken başka bir önemli kavram ise, iklimsel değişkenliktir. **İklimsel değişkenlik**, *tüm zaman ve alan ölçeklerinde iklimin ortalama durumundaki ve standart sapmalar ile uç olayların oluşumu gibi öteki istatistiklerindeki değişimlerdir* (Türkeş, 2020a). İklimsel değişkenlik, iklim sistemi içindeki doğal iç süreçlere (içsel değişkenlik) ya da doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere (dışsal değişkenlik) bağlı olarak oluşabilir (Türkeş, 2019).



2. TÜRKİYE İKLİMİ VE KURAK BÖLGELER

Türkiye İkliminin ve İklim Dinamiğinin Ana Çizgileri

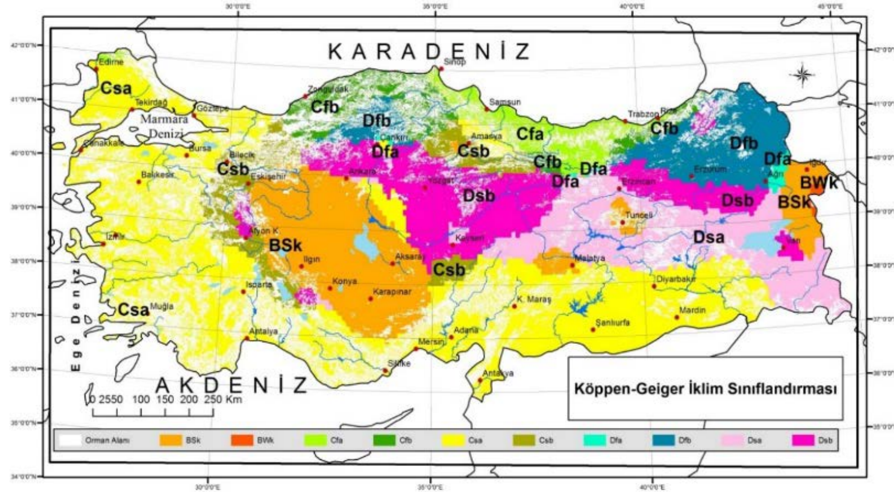
Türkiye'de hava ve iklim koşulları, temel olarak, yüksek atmosfer batı rüzgârları kuşağındaki polar jet akımlarıyla ilişkili kuzey Atlantik-Avrupa polar cephesine bağlı gezici alçak ve yüksek basınç sistemleri, tropikal Hadley hücresi dolaşımının alçalıcı koluyla bağlantılı dinamik oluşumlu subtropikal Azor yüksek basıncı (özellikle yazın), termik oluşumlu Sibirya yüksek basıncı (özellikle kışın) ile tropikler arası yaklaşma kuşağının (ITCZ) yazın güney Asya'da 30° kuzey enlemlerine kadar çıkmasıyla etkili olan Muson alçak basıncının alansal ve zamansal değişimleri ve karşılıklı etkileşimleri tarafından denetlenir (Türkeş, 2010, 2017b, 2017c; Türkeş ve Erlat, 2006; Türkeş ve Tatlı, 2009, Şahin ve ark., 2015, vb.).

Türkiye'deki egemen iklim tipi ise, birçok farklı bölgesel alt iklim ve yağış rejimi tipleri bulunmasına karşın, kışı ılıman/soğuk ve yağışlı, yazı kurak ve sıcak/çok sıcak subtropikal Akdeniz iklimidir. Yazın polar jet akımının ortalama koşullarda yaklaşık 60° K enlemlerindeki polar cephe kuşağına ve ötesine göçü sonucunda genel atmosfer dolaşımda beliren bu değişiklik, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi ve Kuzeydoğu Anadolu Bölümü dışında kalan yerlerinde, yaz boyunca genellikle uzun süreli kuru ve sıcak iklim koşullarının (yaz kuraklığı) oluşmasına neden olur (Erlat ve Türkeş, 2013a; Türkeş ve Erlat, 2003; Türkeş, 2021a; vb.).

Konunun daha iyi kavranması için bu noktada **aridite** ve **kuraklık** kavramlarını kısaca açıklamak gerekir. **Aridite**, "*Yeryüzünün herhangi bir yerinde egemen olan fiziki coğrafya denetçilerinin ve uzun süreli atmosfer dolaşımı düzeneklerinin oluşturduğu sürekli yağış ve nem açığı koşulları ya da hidroklimatolojik kuraklıktır.*"; başka bir deyişle coğrafi ve/ ya da klimatolojik kurak olma durumudur (Türkeş, 2013a, 2017b, 2017c, 2021a, vb.). Bu koşulların yıl boyunca ya da yılın çok büyük bir bölümünde egemen olduğu arazilere, **arid bölge** ya da **kurak bölge** adı verilir.

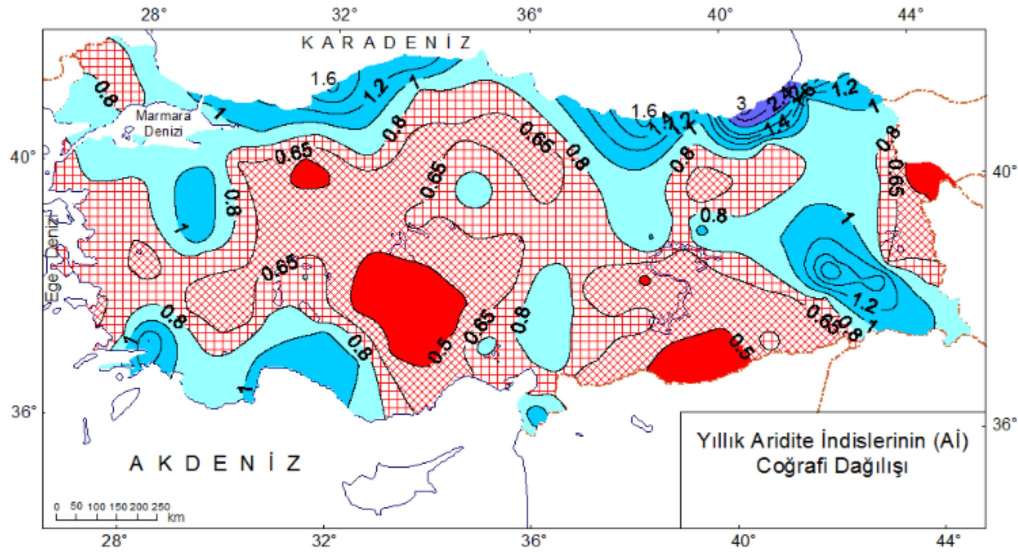
Kuraklık (Kuraklık olayı); hidrolojik, tarımsal ve meteorolojik kuraklık gibi bir ayrıma gidilmeksizin; "*yeryüzündeki çeşitli sistemlerce kullanılan doğal su varlığının, belirli bir zaman süresince ve bölgesel ölçekte uzun süreli ortalamanın ya da normalin altında gerçekleşmesi sonucunda, temel olarak şiddet, süre ve coğrafi yayılış bileşenleri ile nitelendirilebilen üç boyutlu bir doğa olayı biçiminde etkili olan su açığı ve yetersizliğidir*" (Türkeş, 2017b ve 2017c, vb.).

Köppen iklim sınıflandırma sisteminin birinci ve ikinci harfleri dikkate alındığında, Türkiye'de İç Anadolu Bölgesi'nin orta bölümü ve Doğu Anadolu'nun en doğusunda Van-Iğdır bölümü ***orta enlem yarıkurak step*** (**BSk**), Marmara kıyı bölümü dışında Karadeniz kıyı kuşağı **nemli orta enlem (ılıman)** iklimlerin ***kurak mevsimi olmayan yazı sıcak ve çok sıcak nemli subtropikal*** (**Cfb, Cfa**) ve Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ile İç Anadolu'nun batı ve güney bölümleri ***yazı kurak sıcak ve çok sıcak subtropikal*** **Akdeniz** (**Csb, Csa**) iklim sınıfına girer (Şekil 2) (Türkeş, 2013a, 2021a). Öte yandan, İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin genel olarak orta-kuzey bölümlerinde uzanan geniş bir kuşak ***yazı kurak nemli karasal (soğuk)*** (**Ds**), Kuzeydoğu Anadolu'nun (Erzurum-Kars Bölümü) ve İç Anadolu'nun kuzeyindeki görece dar bir alan ise ***kurak mevsimi olmayan nemli karasal (soğuk)*** (**Df**) iklim sınıfında yer alır.



Şekil 2. Köppen iklim sınıflandırma sisteminin birinci, ikinci ve üçüncü harflerine göre, Türkiye'deki iklim tiplerinin coğrafi dağılışı (Türkeş 2013a: Türkeş 2010'e göre yeniden çizildi.). Haritadaki beyazlıklar, orman alanlarını (orman, maki ve çalılıklar karışık) gösterir.

Aridite İndisi'ne ya da başka iklim sınıflandırmalarına göre çölleşmenin baskın ve tanıtıcı fiziki coğrafya gösterge ve özellikleri (jeomorfoloji, ekolojik biyocoğrafya, hidroloji vb.) açısından, Türkiye'de **gerçek çöllerin yer aldığı *çok kurak ve çöl benzeri koşulların yaşandığı gerçek kurak (arid) araziler*** yoktur (Türkeş, 2013, 2017b). Buna karşılık, Türkiye'de, aridite koşullarına göre, farklı şiddetlerde çölleşmeye açık ya da çölleşmeden etkilenebilirliği olan, yarıkurak, kurakça-yarınemli ve nemlice-yarınemli bölge ve yöreler vardır (Şekil 2).



Şekil 3. Yıllık Aridite İndisi (Aİ) değerlerinin Türkiye üzerindeki coğrafi dağılışı (Türkeş, 2013a). Haritada, (i) tam kırmızı dolgu (yarıkurak), (ii) çapraz tarama (kurakça-yarınemli) ve (iii) kare tarama (nemlice-yarınemli) ile gösterilen tüm alanlar, Türkiye'nin klimatolojik olarak yıllık su açığı bulunan, kuraklık ve çölleşmeye eğilimli bölgelerine karşılık gelirken; (iv) mavinin tonlarında renklendirilen ancak taranmamış yerlerde, indis değerleri 0.80-1.0 arasında kalan alanlar yarınemli, (v) 1.0-2.0 arasında kalan alanlar nemli/çok nemli ve (vi) 2.0'den yüksek olan alanlar ise çok fazla (aşırı) nemli bölgeleri gösterir.



Aridite İndisi'ne (Şekil 3) göre Türkiye'de çölleşmeye eğilimli **yarıkurak ve kurakça-yarınemli araziler**, ülke topraklarının yaklaşık % 30'unu kaplar. **Nemlice-yarınemli kuraklık** sınıfı ile birlikte bu oran % 60'a ulaşır. Türkiye'nin su iklimindeki mevsimsellik ve yıllar arası değişkenlik de dikkat çekici derecede yüksektir.

Türkiye'de toplam kullanılabilir su tutarı, 112 milyar m^3 (112 km^3) olarak hesaplanmıştır. Türkiye nüfusunun 2019 yılına göre toplam yaklaşık 83 milyon (83,154,997) ve toplam kullanılabilir su tutarının 112 milyar m^3 olduğu (TÜİK, 2020; Kalkınma Bakanlığı, 2014; DSİ, 2020) dikkate alındığında, Türkiye'de kişi başına yıllık ortalama yaklaşık 1350 m^3 kadar su düştüğü bulunur. Nüfusun hâlâ artmakta olduğu Türkiye'de, bu tutar Dünya ortalamasının yaklaşık % 18'ine karşılık gelir. Başka bir deyişle, Türkiye su zengini bir ülke değildir, öyleymiş gibi yaşayan bir ülkedir.

3. İKLİM VE ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Canlı yaşamın başlangıcından bugüne kadar iklim, türlerin evrimi ve çeşitliliği üzerinde en önemli etkenlerden birisi olmuştur. Oldukça yavaş ve zamana yayılmış bir halde gerçekleşen küçük değişimler geçtiğimiz yüzyıla kadar ekolojik denge ile uyumlu bir seyir izlemiştir. Milankovitch döngüleri, Güneş'ten gelen enerji miktarındaki değişimler, okyanusal ve atmosferik süreçler, volkanik püskürmeler ve atmosferdeki birikimleri insan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazlarının (CO_2, CH_4, N_2O, vb.) artışları, iklimde meydana gelen değişikliklerin temel sebepleri arasında sayılmaktadır (IPCC, 2021a, 2022b; Türkeş, 2019, 2020a; vb.).

Sanayi Devrimi ile birlikte sera gazı birikimlerindeki (konsantrasyon) hızlı artış ve buna bağlı olarak geliştiği düşünülen küresel ısınma ve yaşanmakta olan olumsuz sonuçları, iklim araştırmalarını çok daha önemli bir konuma taşımıştır. Devletlere, iklim değişikliği konusunda bilimsel raporlar hazırlamak için 1988 yılında Birleşmiş Milletler himayesinde Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ortaklığında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur (Türkeş, 2013b; İğci ve Çobanoğlu, 2019).

Sanayi Devrimi'nden bu yana gerçekleşen karbondioksit (CO_2) ve diğer sera gazı emisyonlarının atmosferde birikmesi sonucunda gezegenimizin yüzey sıcaklığının ortalama yaklaşık 1.2°C derece kadar artış göstermiş olduğu belirlenmiştir. IPCC raporları ve çeşitli araştırmalarda gezegenimizin yüzey sıcaklığının yüzyıl sonuna kadar en fazla 2°C derece artış göstermesinin kabul edilebilir olduğu ve önlem alınmaz ise gezegenimizin iklim düzeninin kalıcı olarak değişime uğrayacağı "bilimsel olarak" kanıtlanmıştır. "**Kırmızı alarm**" olarak değerlendirilen IPCC "İklim Değişikliği 2021: Fiziksel Bilim Temeli Raporu" insanlığın uluslararası kabul gören 1.5°C'lik geri dönülmez eşik noktasına tehlikeli bir yakınlıkta olduğunun, ısınmanın engellenmesinde mevcut çabaların yetersiz kaldığının altını çizmektedir (IPCC, 2021a). IPCC "İklim Değişikliği 2022: Etkiler, Uyum ve Etkilenebilirlik Raporu" iklimin, biyoçeşitliliğin ve insanların birbirine olan bağımlılığını ortaya koyarak; iklim değişikliğine yönelik küresel eylemde daha fazla gecikmenin, yaşanabilir bir geleceği güvence altına almayı imkânsız hale getireceğini vurgulamaktadır (IPCC, 2022b). IPCC "İklim Değişikliği 2022: İklim Değişikliği Mücadelesi Raporu" ise ülkelerin net sıfır emisyona ulaşmak için gereken politikaları ve eylemleri gerçekleştirme konusunda geride kaldıklarını; mevcut düzende devam edilirse sıcaklıkların, aşırı bir seviye olan 3 dereceye kadar yükselebileceğini belirtmektedir [1]. Fosil yakıtlara bağımlılığın ortadan kaldırılması için küresel ekonominin ve toplumun tüm yönlerinde köklü değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır (IPCC, 2022c).

Dünyadaki Sanayi Devrimi'ni takip eden süreçte nüfus artışı, şehirleşme ve endüstriyel gelişmeler doğa ve çevre üzerinde olumsuz gelişmelere sebep olmuştur. 150-200 yıl



önce dünya üzerinde insan etkisi yok denecek kadar azdı. Endüstri devrimi ile beraber üretimin artması, doğal kaynakların aşırı kullanımı, şehirlerin çok büyümesi, oluşan zararlı atıkların çok büyük miktarlara ulaşması sonucu insanlar, hava, su ve toprak kirliliği başta olmak üzere genel olarak doğal çevrenin kirlenmesine sebep olmuştur. Endüstriyel ürünlerde, tarımsal faaliyetlerde ve günlük yaşamda kullanılan kimyasallar çevre sağlığını, ekosistemi ve biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Küresel iklim değişikliği, dünyanın geleceği için tehdit olarak görülmekte, fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüşüm teşvik edilmektedir. Temiz ve korunmuş çevre, biyoçeşitliliğin korunması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğinin yavaşlatılması ve etkilerine karşı uyum çalışmaları geleceğimiz için üzerinde önemle durulması gereken konulardır (Uncu, 2019).

Dünyanın geri kalanından iki ila üç kat daha hızlı ısınan ve iklim değişikliğine karşı en savunmasız bölgeler olarak kabul edilen kutuplar hızla erimektedir. Eriyen buzul miktarındaki artış güneş ışınlarının yansıtılmasını önemli oranda azaltırken, buna bağlı olarak deniz ve toprak daha fazla ısınmaktadır. Bu döngünün birbirini beslemesi ile küresel ısınma çok daha hızlanmaktadır. 2022'de Antarktika'da ve Kuzey Kutbu'nda aynı zamanlarda rekor sıcaklıklar kaydedilmiş; zıt mevsimlerde kuzeyin ve güneyin aynı anda erimesinin olağan dışı olduğu ve durumun endişe verici olduğu dile getirilmiştir [2]. Haziran 2022'de yayımlanan bir araştırma, Kuzey Kutbu'ndaki yüzey sıcaklıklarındaki ısınmanın dünyanın diğer bölgelerinden yedi kat daha fazla olduğunu ortaya koymuştur [3]. NASA verilerine göre, Grönland'da 1993-2016 tarihleri arasında yılda 281 milyar ton buz erimiştir. Antarktika'da ise yine aynı tarihler arasında yıllık kaybolan buz miktarı 119 milyar tondur. Alpler, Himalayalar, And Dağları, Rocky Dağları, Afrika ve Alaska gibi farklı yerlerdeki dağ buzullarında daha önce görülmemiş erimeler görülmektedir. 1994 yılından beri, yıllık olarak toplamda 400 milyar ton civarında buzul kaybolmuştur (Uncu, 2019). Bu sonuçlar, dünya ikliminin sigortası sayılan kutuplardaki buzulların, öngörülenden çok daha hızlı erimekte olduğunu; bu durumun iklim değişikliği, ekosistemler ve canlı yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerinin ciddiyetine dikkat çekmektedir.

Her yıl iklim değişikliği değerlendirmesi yapan ve Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak çalışan Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) 2021 yılı raporunda, sera gazı salımlarının, deniz seviyelerinin, okyanus suyu sıcaklığının ve atmosferdeki birikimi artan CO_2 nedeniyle okyanus asitlenmesinin rekor yüksek seviyeye ulaştığını tespit etmiştir. Deniz seviyesinin yükseliş oranı son 20 yılda iki katına çıkmıştır. Sanayi Devrimi'nden beri okyanus suyu asitlenme miktarı %30 oranında artmıştır. Okyanuslar doğal karbon yutağıdır ve atmosferdeki karbondioksit gazının bir kısmını emer. Atmosferdeki karbondioksitin aşırı düzeye çıkması sonucunda, okyanusların tuttuğu karbon miktarı da yükselmekte; okyanusların karbon emme kapasitesi azalmakta; birçok deniz canlısının yaşam döngüsü de olumsuz etkilenmektedir. Okyanuslardaki mercan resiflerinin %95'i ölmektedir. İklim değişikliği ile gerçekleşen hava sıcaklığındaki genel artış nedeniyle biyoçeşitlilik büyük zarar görmektedir (Tolunay, 2019). Dünya genelinde; sel, kasırga, kuraklık ve orman yangını gibi hava olaylarına bağlı afetlerin sayısında ve şiddetinde rekor artışlar olmaktadır (WMO, 2022).

İklim değişikliğinin ekolojik dengeyi bozmasının sosyal ve ekonomik hayat üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. BM Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (UNCCD) Sekreteryası tarafından yayımlanan "**Sayılarla Kuraklık 2022 Raporu**", iklim değişikliği ile şiddetlenen kuraklıkların dünya genelinde en büyük tehditlerden biri olduğunu; küresel olarak yaklaşık 55 milyon insanın her yıl kuraklıktan doğrudan etkilendiğini ortaya koymaktadır. Kuraklık dünyanın hemen her yerinde hayvancılık ve tarım için en ciddi tehlike haline gelmektedir. Rapor, hızlı nüfus artışıyla birlikte, su ve gıdaya erişimde eşitsizliklerin tüm dünya için önemli bir güvenlik sorunu olduğunu ve 2050 yılına kadar 216 milyon insanın su kıtlığı, kuraklık, tarımsal verimin azalması nedeniyle göç etmesinin beklendiğini söylemektedir.

4. İKLİM SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ

Fiziksel İklim Sistemi Nedir? Nasıl Çalışır?

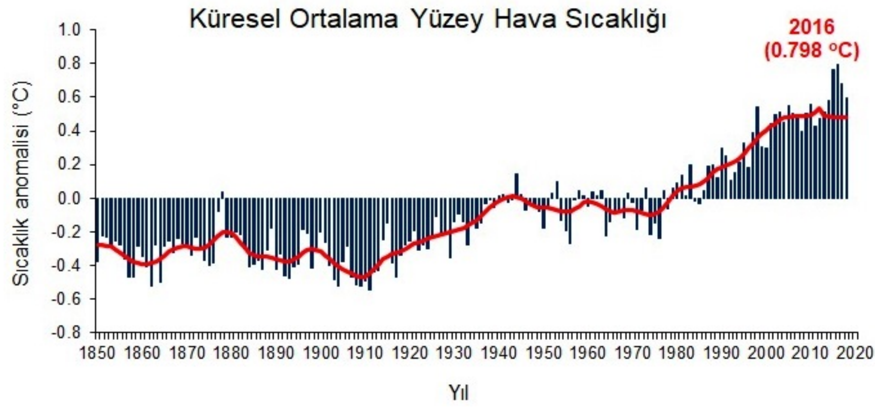
Küresel iklim, en genel anlamıyla, (1) atmosfer (hava küre), (2) hidrosfer (su küre), (3) krayosfer (buz küre), (4) litosfer (taş küre) ve (5) biyosfer (yaşam küre) olarak adlandırılan başlıca beş bileşeni bulunan ve bu bileşenler arasındaki karşılıklı etkileşimleri de içeren çok karmaşık bir sistemdir ve Fiziksel İklim Sistemi ya da daha kısa bir deyişle İklim Sistemi olarak adlandırılır (Şekil 4).

Şekil 4. Fiziksel iklim sisteminin asal bileşenleri (alt sistemleri), süreçleri ve karşılıklı etkileşimleri (Türkeş 2010; Le Treut ve ark. 2007'ye göre yeniden çizildi ve düzenlendi.)

Tüm atmosfer hareketlerinin enerji kaynağı Güneş'tir. Güneş'ten gelen kısa dalga boylu enerji (GKDB Güneş ışınımı) atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır (Şekil 4). Güneş enerjisinin atmosferden geçişi sırasında çok az enerji emilir ve bu da atmosferin ısınmasına harcanır. Ancak, enerjinin çoğu yüzeyde soğurulur (emilir) . Önce yüzey ısınır, sonra üzerindeki hava yüzeyden başlayarak ısınır. Bu da yeryüzünü atmosfer için ana ısı kaynağı yapmaktadır. Isınmanın tutarı, günün ve yılın zamanı kadar yüzeyin şekline ve özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Güneş'ten salınan ve yeryüzüne ulaşan enerjinin eşitsiz dağılımı, rüzgâr olarak bildiğimiz yatay hava hareketlerini ve bulutlar ile yağışları oluşturan dikine hava hareketlerinin (konveksiyon) doğrudan oluşmasına neden olur. Sonuç olarak, Güneş'ten gelen ve atmosferde çeşitli süreçlere katılan enerji, uzaya geri döner. İklim sistemini yöneten Güneş enerjisi çeşitli zaman ölçeklerinde değişmektedir. Bu nedenle, iklim de değişmektedir.





Şekil 5. 1961-1990 dönemi yıllık ortalamalarından farklara göre hesaplanan, küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığı anomalilerinin 1850-2018 dönemindeki değişimleri. Aletli gözlem dönemindeki en sıcak yıl, 1961-1990 dönemi normaline göre yaklaşık 0.8 °C daha sıcak olan 2016 yılıdır. Değişim grafikleri CRU/UEA ve HadCentre/MetOffice'in güncelleştirdiği CRUTEM4 aylık sıcaklık verileri kullanılarak çizildi. Sıcaklık dizilerindeki yıllar arası değişkenlik, 13 noktalı düşük geçirimli Binom süzgeci (▬▬) ile düzgünleştirildi.

Örneğin küresel ortalama sıcaklıktaki uzun süreli artış (Şekil 5), Sanayi Devrimi'nden beri özellikle son yarım yüzyılda CO2, CH4 ve N2O gibi sera gazlarının atmosferdeki hızla artan birikimlerinden kaynaklanan küresel ısınma konusunda ciddi bir kaygıya yol açmaktadır. Öte yandan, insan etkinliklerinin atmosferi etkilemesinden önceki atmosfer bileşiminin, hızlı bir artış ya da azalış eğiliminden çok uzun süreli dalgalanmalar gösterdiği, yerkürenin varlığını sürdürdüğü dönem süresince atmosferin yavaşça evrimleştiği ve bunun da iklimi etkilediği anlaşılmıştır. GKDB Güneş enerjisinin dağılışındaki alansal değişimlerin yanı sıra, günlük ve mevsimlik değişimlerin sonucunda yeryüzünün çevresindeki enerji dağılışında da sürekli değişiklikler olmaktadır. Ancak, genel olarak ekvatoral ve tropikal bölgeler en fazla, kutup bölgeleri ise en az enerji almaktadır.

Fiziksel İklim Sisteminin Bileşenleri

Yerkürenin herhangi bir yerinde gözlenen ya da yaşanan iklim, fiziksel iklim sisteminin çeşitli asal bileşenleri ya da alt sistemleri arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir sonucudur (Şekil 4). Kolayca anlaşılabileceği gibi iklim, fiziksel iklim sisteminin alt sistemleri ile etkileşim içinde bulunan ve onlardan etkilenen atmosfer değişimlerini ve "dış" etmenleri içerir. İklim sistemindeki içsel interaktif bileşenler; atmosferi, okyanusları, deniz buzunu, kara yüzeyini ve özelliklerini (yer şekilleri, bitki örtüsü, yeryüzünün Güneş ışınımını yansıtma oranı (albedo), canlı kütle ve ekosistemler, vb.), kar örtüsünü, karasal buzulu (dağ buzullarını, Antarktika ve Grönland'daki buzul kalkanlarını) ve hidrolojiyi (nehirleri, gölleri, yer üstü ve yer altı sularını) içermektedir. Bu ana bileşenler, atmosferik süreçleri kuvvetli bir biçimde etkileme gücüne sahiptir. Atmosferin kendisi söz konusu olduğunda, birçok özelliğinin kendi gaz bileşimince etkilendiği görülür. Atmosferin gaz bileşimi ise, yeryüzündeki hayvan ve bitki yaşamından etkilenir. Örneğin insan etkinlikleri, azot ve oksijen gibi gazların ve su buharı, CO2, CH4 ve N2O gibi etkin sera gazlarının atmosferik birikimlerini (konsantrasyon) doğrudan etkiler.

Atmosferin bileşimindeki önemli değişimlerden biriyse; suyun, atmosferde su buharı, sıvı su ve buz kristalleri içeren bulutlar ve dolu şeklinde çeşitli evrelerde bulunmasıdır (Şekil 4). Ancak atmosferin ve okyanusların diğer özellikleri de değişebilir. Bu nedenle, atmosfer kimyası, deniz biyokimyası ve kara yüzeyindeki karşılıklı etkileşimler ve değişiklikler vb. konular öncelikli alanlar olarak önem kazanmaktadır.

Normal koşullarda iklim sistemine göre "dış" olarak nitelendirilen bileşenlerse Güneş'i ve enerjisini, yerkürenin ekseni çevresindeki dönüşünü, Güneş-Yer geometrisini, yerkürenin yörüngesini, kara ve deniz dağılışını, karaların fiziki coğrafi özelliklerini, okyanus



tabanı topografyasını ve havza şekillerini, atmosfer ve okyanusların temel bileşimini ve kütlesini içerir. Bu bileşenler, doğal nedenler ile değişebilen “ortalama” iklimi belirlemektedir. GKDB Güneş ışınımındaki ya da yerkürenin yüzeyinden salınan giden uzun dalga boylu (GUDB) kızıl ötesi ışınımdaki dalgalanmalar nedeniyle, atmosferin dış yüzeyine ulaşan ortalama net ışınımdaki herhangi bir değişiklik, sistemin ışınımsal zorlanması olarak bilinen süreci etkiler.

Güneş'ten gelen ışınım enerjisindeki değişiklikler ve yanardağ püskürmesi gibi atmosfere çok büyük tutarlarda volkanik kül ve gaz salımına (emisyon) yol açan doğal olaylar nedeniyle atmosferin bileşiminde oluşan değişiklikler, konuyla ilgili başlıca olası değişiklikler arasında sayılabilir. Öteki dış zorlamalar, sera gazlarının salımlarındaki buna bağlı olarak da sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinde gözlenen artışlar gibi insan etkinlikleri sonucunda oluşabilir (Türkeş, 2019).

5. GÜNEŞ RADYASYONU VE KÜRESEL ENERJİ DENGESİ

Güneş ve Yer Işınımı

İklim sisteminin sıcaklık, basınç, rüzgâr, yağış, bulut ve nem gibi tüm öğeleri, yerküre/atmosfer sisteminin içindeki enerji transferi (taşınması) ve dönüşümlerinin bir sonucudur. Güneş, yerküre ve atmosfer, birlikte muazzam bir ısı motorunu oluşturur. Yeryüzüne ulaşan Güneş ışınları, ekvator ve çevresine yıl boyunca dik ve dike yakın açılarla geldiği için ekvatoral ve tropikal bölgeler daha fazla ısınır. Tropikler ile orta enlemler ve kutuplar arasındaki bu enerji ve sıcaklık farkı da genel atmosfer dolaşımı ile hava olaylarının oluşmasına neden olur (Türkeş, 2021a).

Tüm süreç, kuramsal olarak Güneş enerjisi atmosferin tepesine **radyant enerji** olarak ulaştığında başlar. **Radyant enerji** teknik olarak **elektromanyetik radyasyona (ışınım)** karşılık gelmesine karşın, kısaca **Güneş ışınımı** olarak da adlandırılır. Atmosferin üst sınırına ulaşan Güneş ışınımının tutarı, **Güneş sabiti** (S_c) olarak adlandırılır: Yerkürenin Güneş’ten olan ortalama uzaklığında ($1.5 \cdot 10^{11}$ m), **Güneş sabitinin değeri** S_c = 1367 W/m^2’dir (~1.96 kal/cm^2/dakika ya da 1.4 kW · m^{-2}).

Yerküreyi ilgilendiren elektromanyetik ışınım iki başlık altında incelenebilir (Türkeş, 2010):

(1) Güneş’ten yerküreye ulaşan GKDB Güneş ışınımı

(2) Yeryüzünden salınan GUDB karasal ya da yer ışınımı

Güneş enerjisi, uzaydan yeryüzüne doğru taşındığı için atmosfer ile etkileşim içindedir. Güneş enerjisinin bir bölümü, atmosferden uzaya geri yansır, bir bölümü emilir ve ısıya dönüşür, bir bölümü de yeryüzüne geçer (transmisyon). Yeryüzüne işleyen ve orada emilen ışınım, yüzeyi ısıtır, suyu buharlaştırır, karları eritir ve toprak örtüsünü ısıtır. Bunun sonucunda, Güneş ışınımı, çeşitli enerji biçimlerine dönüşür. Sonunda bu enerji de atmosfere geçer, orada emilir ve uzun dalga boylu (UDB) ışınım olarak yeryüzüne ve uzaya doğru yeniden salınır.

Yerkürenin Hareketleri ve Yerküre-Güneş İlişkileri

Yerküre, Güneş enerjisinin iki milyarda birine karşılık gelen çok önemsiz bir bölümünü almaktadır. Eğer Güneş söndürülebilseydi, küresel rüzgâr sistemleri ve okyanus akıntıları hızla ortadan kalkardı. Bugünkü koşullarda, Güneş parladıkça rüzgârlar esecek ve hava olayları sürecektir.



Çizelge 1. (a)Yeryüzünün, (b) atmosferin ve (c) gezegenin (yeryüzü ve atmosfer birlikte, tüm yerkürenin) ısı enerjisi bütçesi (Türkeş, 2021a). Gelen ve giden ışınım değerleri, yüzde (%) ve parantez içinde W/m2 olarak veriliyor.

(a) Yeryüzünün enerji bütçesi			
Gelen ışınım	% (W/m^2)	*Giden ışınım*	% (W/m^2)
Yüzeyde emilen Güneş ışınımı	49 (168)	Yer ışınımı	114 (390)
Yüzeyde emilen atmosfer ışınımı	95 (324)	Evapotranspirasyon	23 (78)
		Termaller	7 (24)
Toplam enerji geliri	**144 (492)**	Toplam enerji gideri	**144 (492)**
(b) Atmosferin enerji bütçesi			
Gelen ışınım	% (W/m^2)	*Giden ışınım*	% (W/m^2)
Atmosferde emilen Güneş ışınımı	20 (67)	Uzaya salınan atmosfer ışınımı	57 (195)
Yoğunlaşma gizli ısısı	23 (78)	Yeryüzüne dönen geri ışınım	95 (324)
Termaller	7 (24)		
Yer ışınımı	102 (350)		
Toplam enerji geliri	**152 (519)**	Toplam enerji gideri	**152 (519)**
(c) Gezegensel enerji bütçesi			
Gelen ışınım	% (W/m^2)	*Giden ışınım*	% (W/m^2)
Güneş ışınımı	100 (342)	Yansıyan ve saçılan ışınım	31 (107)
		Uzaya salınan atmosfer ışınımı	57 (195)
		Uzaya salınan yer ışınımı (Atmosfer penceresi)	12 (40)
Toplam enerji geliri	**100 (342)**	Toplam enerji gideri	**100 (342)**

Yerkürenin, **rotasyon**, **revolusyon** ve **presesyon** olarak adlandırılan başlıca üç hareketi vardır (Şekil verilmedi). **Rotasyon**, yerkürenin kendi ekseni çevresindeki dönüşüdür. Yerkürenin kuzey ve güney kutup noktalarını birbirine bağlayan ekseni çevresinde 24 saatte tamamladığı bu hareketi sonucunda, gece ve gündüzün günlük döngüsü oluşur. **Revolusyon**, yerkürenin Güneş'in çevresindeki yörüngesini, başka bir deyişle ekliptik düzlemini izleyerek yaptığı dönüş hareketidir. **Presesyon** (yalpalama), Dünya'nın rotasyon sırasında, başını sallayan bir topaç gibi yalpalayarak yaptığı dönüş hareketidir. Presesyon hareketinin nedeni, Dünya'nın Ekvator bölgesinin şişkin ve ekseninin eğimli olması ve bunun sonucunda Güneş'in ve Ay'ın, yerkürenin çeşitli bölümleri üzerinde farklı çekim yapmalarıdır.

Yerkürenin Enerji Bütçesi

Atmosferin Güneş'e bakan dış yüzündeki bir alanda, bir metrekarelik bir yüzeye saniyede düşen enerji tutarının yaklaşık 1367 Watt (W) olduğunu ve bu değerin, kısa sürelerde değişmediği için Güneş sabiti olarak adlandırıldığını görmüştük. Ancak, gezegenimiz küre biçimli olduğu için, herhangi bir zamanda yarısı geceyi yaşar. Bu yüzden, atmosferin dış yüzeyindeki bir noktaya gelen ortalama enerji tutarının, gerçekte bu değerin yaklaşık dörtte birine (342 W/m^2) düştüğü hesaplanmıştır (Çizelge 1c). Yerkürenin ışınım ya da ısı bütçesini daha kolay açıklayabilmek için atmosfere giren bu 342 W/m^2 değerindeki GKDB Güneş radyasyonu % 100 ya da 100 birim kabul edilmiştir. Bu bölümde de bu yaklaşım izlenmiştir (Çizelge 1). Küresel enerji bütçesi (enerji dengesi), GKDB Güneş ışınımının ve GUDB yer ışınımının yeryüzündeki ve atmosferdeki bütçelerine (bilançolarına) bağlıdır.

Gezegensel olarak uzun bir zaman döneminde Güneş'ten sağlanan enerji ile yeryüzünden ve atmosferden uzaya salınan ve kaçan (yansıma ve saçılma ile) enerji tutarı dengede olmalıdır. Yerkürenin gider sütununu; yeryüzünden, atmosferden, aerosollerden ve

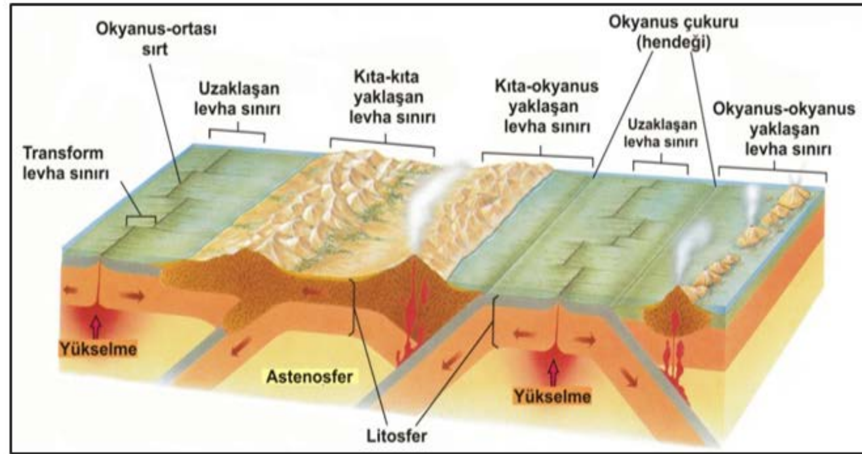
bulutlardan yansıyan ve saçılan ışınım (107 W/m^2), uzaya salınan atmosfer ışınımı (195 W/m^2) ile sera gazları ve su buharı tarafından emilmediği için doğrudan uzaya salınan, spektrumun 8 ile 11 µm (mikrometre) dalga uzunlukları arasındaki uzun dalga boylu yer ışınımı (**atmosfer penceresi**, 40 W/m^2) oluşturur (Çizelge 1c). Özetle, GKDB Güneş ışınımının yaklaşık % 31'i (yerkürenin ortalama albedosu) yeryüzünden ve atmosferden yansıyarak ve saçılarak; % 57'si atmosferden geri ışıyarak ve yaklaşık % 12'si yerden geri ışıyarak atmosfer penceresi yoluyla uzaya kaçar. Sonuçta, gelen Güneş enerjisi, gezegensel olarak, yansıma, saçılma ve ışınım yoluyla uzaya geri dönmüş olur. GKDB Güneş enerjisi ile GUDB kızılötesi ışınım arasındaki dengeyi değiştirebilecek birçok etmen vardır. Günümüzde bu dengeyi bozup iklimi değiştirme gücüne sahip olan etmenlerin başında, fosil yakıt yanması, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormansızlaşma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleri geliyor (Türkeş, 2019).

6. DOĞAL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ: LEVHA HAREKETLERİ VE MİLANKOVİÇ DÖNGÜLERİ

Levha Tektoniği Nedir?

Mantonun litosferden görece daha sıcak ve daha akışkan üst bölümü astenosfer olarak adlandırılır. Litosferi oluşturan geniş ve katı levha parçaları, astenosferdeki konveksiyon hücrelerinin oluşturduğu iç dolaşıma bağlı olarak hareket etmektedir. Bu büyük ölçekli düzenek, **levha tektoniği (plaka tektoniği)** olarak adlandırılır. **Levha tektoniği kuramı**na göre, litosfer astenosfer üzerinde hareket eden çok sayıda levhaya ayrılır. Volkanik etkinlik, deprem etkinliği ya da volkanik ve deprem etkinlikleri birlikte, çoğunlukla levha sınırlarını işaret eder. Levhalar, bu sınırlar boyunca uzaklaşır (diverjans), yaklaşır (konverjans) ya da yanal olarak hareket eder (transform levha sınırı) (Şekil 6).

Astenosferdeki konveksiyon hücrelerinin oluşturduğu iç dolaşıma bağlı olarak yükselen magmanın ve volkanik püskürmelerin etkisiyle okyanus ortası sırtlarda, yeni litosfer oluşur (Şekil 6). Eski litosfer ise, dalma batma kuşaklarında ve okyanus çukurlarında kısmen erir ve yok olur. Levha hareketleri, yılda birkaç milimetreden (mm) birkaç santimetreye değişen bir yavaş hareket olarak gerçekleşir. Levha hareketlerinin yavaş oluşu kıtaların parçalanmasına ve okyanus havzalarının oluşmasına neden olur.



Şekil 6. Litosfer ve astenosfer arasındaki ilişki, levha hareketleri ve temel levha sınırı tipleri: diverjan (uzaklaşan), konverjan (yaklaşan) ve transform levha sınırları (çeşitli kaynaklardan yararlanarak; Türkeş, 2021a ve 2021b)

Levha tektoniğinden önce bilim insanları, depremlerin neden belirli bölgelerde yaygın ve diğerlerinde son derece ender olduğu, volkanların neden zaman zaman zincirler halinde

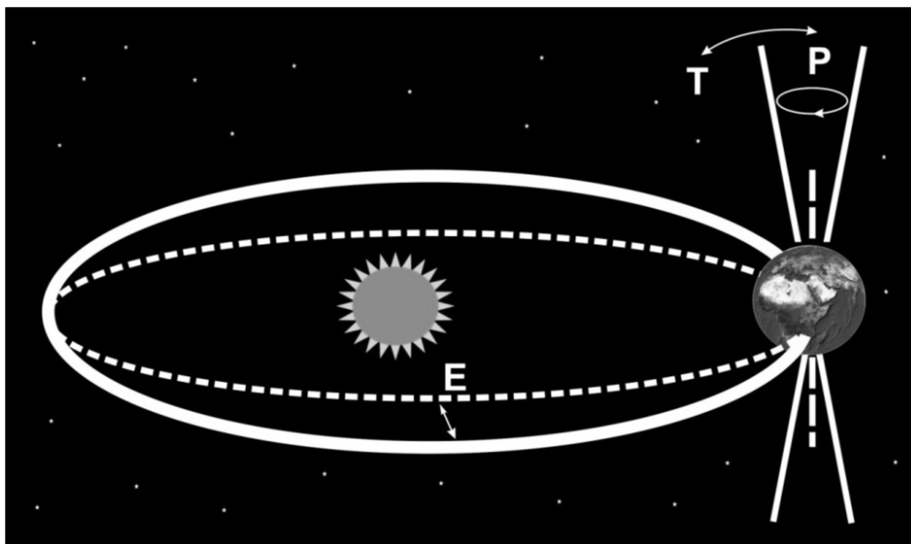


oluştuğu ve aynı türün fosillerinin coğrafi olarak neden binlerce kilometre uzaktaki kıtalarda ortaya çıktığı gibi birçok doğa olayını açıklayamıyordu. Bilim insanları, gezegenimizin jeolojik zamanlar boyunca karşılaştığı iklim değişikliklerinin önemli bir bölümünün arkasındaki itici gücün tektonik olduğunu da fark ettiler. Genel olarak okyanus tabanlarından ve kıtalardan, yani okyanusal ve kıtasal kabuktan oluşan okyanusal ve kıtasal levhalar, yılda birkaç mm ya da cm hızla sürüklenir, daha küçük parçalara ayrılır, birbirinden uzaklaşır (ayrılır) ya da birbirine çarpar. Bu hareket, doğal deniz yollarını açar ve kapatır, okyanus havzalarını oluşturur ve genişletir, sıradağları ve /ya da volkanları oluşturur. Kuşkusuz bunu yaparken Dünya'daki rüzgârları ve okyanus akıntılarını yavaş ama geniş ölçekli ve önemli düzeyde değiştirir.

Levha Tektoniği, İklim ve İklim Değişikliği İlişkisi

Milyonlarca yıl boyunca, atmosferdeki karbondioksit (CO_2) tutarı, diğer etmenlerin yanı sıra, silikatlı kayaçların (örneğin granit, kuvarsit, gnays vb. gibi silisyum içeren çeşitli magmatik ve metamorfik kayaçlar) küresel olarak hava koşullarının denetimindeki ayrışmaya maruz kalmasıyla düzenlenir. Kalsiyum silikatlar su ile karıştığında, örneğin atmosferden gelen CO_2 kayaçlardaki kalsiyum ile tepkimeye girerek kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) oluşturur. Sonuç, doğal bir yolla atmosferden CO_2'nin uzaklaştırılmasıdır. Açıkta kalan silikatlar, yüksek nem, yağış ve sıcaklıkla nitelenen tropikal bölgelerde ayrışmaya daha yatkındır. Tropiklerin yakınındaki sıcak ve nemli bölgelerde büyük oranlarda silikat kayaları varsa, atmosferden daha fazla CO_2 uzaklaştırılır, bu da küresel sera etkisini azaltır ve iklimi soğutur. Tropikal ve subtropikal bölgelerde silikat kayalarının yokluğunda atmosferde daha fazla CO_2 birikir ve iklim daha sıcak olur. Bu jeolojik döngü, Kartopu Dünya'nın değişen kıtaları ve iklimleri tarafından çarpıcı bir şekilde temsil edilmektedir.

Sonuç olarak, **levha tektoniği**, doğal Dünya'daki üç ana **iklim zorlama etmeni**nden biridir. Levha tektoniği, atmosfer, kara yüzeyi ve bitki örtüsü gibi iklime doğrudan etkisi olan bazı etmenlerin tersine, milyonlarca yıl boyunca çok yavaş çalışır. Diğer ikisi, *yerküre ile güneş arasındaki astronomik ilişkiler*, özellikle, *Dünya'nın yörüngesinin şeklindeki ve kendi dönüş ekseninin eğimindeki vb. değişiklikler* şeklinde tanımlanan **orbital zorlama** ve **Güneş enerjisinin şiddetindeki değişiklikler**dir. İklim zorlaması, herhangi bir düzeneğin, örneğin kuvvetlenen ya da değişen sera etkisinin, insan etkinlikleri yüzünden atmosfere salınan ve atmosferdeki birikimleri hızla artan milyarlarca tonluk ek sera gazı salımlarının etkisiyle iklimi değişmeye zorlamasıdır. Bu bir pozitif insan kaynaklı ışınımsal zorlamadır.



Şekil 7. Milankovitch döngülerinin yalınlaştırılmış birlikte gösterimi: Yerkürenin yörüngesinin şeklindeki (E), eksen eğikliğindeki (T) ve presesyonundaki (P) değişiklikler (Türkeş 2010; Jansen ve ark. 2007'na göre yeniden çizildi.)



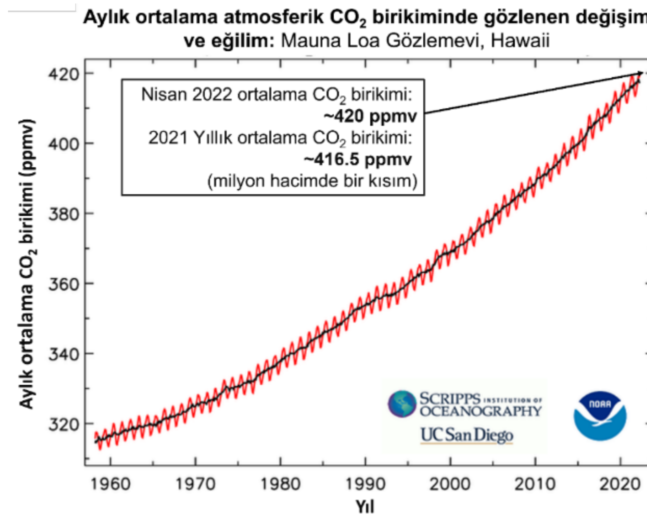
Bir başka örnek, genel olarak **Milankoviç döngüleri** olarak da adlandırılan, *Dünya ekseninin eğimindeki ve Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinin şeklindeki yavaş değişikliklerin yerküre iklimi üzerindeki etkisi, yani orbital zorlamasıdır* (Şekil 7). Özetle, küresel iklimi etkileyebilecek olan başlıca astronomik ilişkiler, yerkürenin Güneş'in çevresindeki yörüngesinin şeklindeki (E) değişiklikler (eksantrisite daha yuvarlak ya da daha eliptik) ile yerkürenin eksen eğikliğindeki (T) ve presesyonundaki (P) (dönüş ekseninin yönündeki) değişiklikleri içerir (Şekil 7).

Burada verilen tüm bu değişiklikler, yerkürenin jeolojik geçmişindeki iklim değişikliklerinin oluşmasında ve denetiminde önemli bir görev üstlenmiş olmalıdır. Ancak, iklim değişikliğinin bilinen "dış" nedenlerinin, kısa süreli iklim değişikliklerini, özellikle yıllar arası, on yıllık ya da birkaç on yıllık daha uzun dönemli iklimsel değişkenlikleri açıklaması olanaksızdır.

7. İNSAN KAYNAKLI İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ: KUVVETLENEN SERA ETKİSİ VE KÜRESEL ISINMA

Işınımsal Zorlama Nedir?

"Normal koşullarda" yer/atmosfer sistemine giren GKDB Güneş enerjisi ile geri salınan GUDB yer ışınımı ortalama koşullarda dengededir (bkz., Çizelge 1). Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanus arasındaki dağılışını değiştiren herhangi bir etmen, iklimi de etkileyebilir. *Yer/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki herhangi bir değişiklik* ise **ışınımsal zorlama** olarak adlandırılır.



Şekil 8. 1958-2022 (2022 Nisan dâhil) döneminde Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen aylık ortalama atmosferik CO_2 birikimindeki (konsantrasyon) değişimler [4 ve 5]. CO_2 gazının atmosferdeki birikimi milyon hacimde bir kısım (ppmv, kısaca ppm) olarak gösterilir. Burada gazın niceliksel değeri, 1 milyon üyeden oluşan bir kuru hava örneğine dayandırılarak açıklanır. Örneğin, CO_2 birikiminin 416 ppm olması, bu sera gazının bir milyon gaz molekülü içeren kuru hava hacminde 416 moleküle sahip olduğunu gösterir.

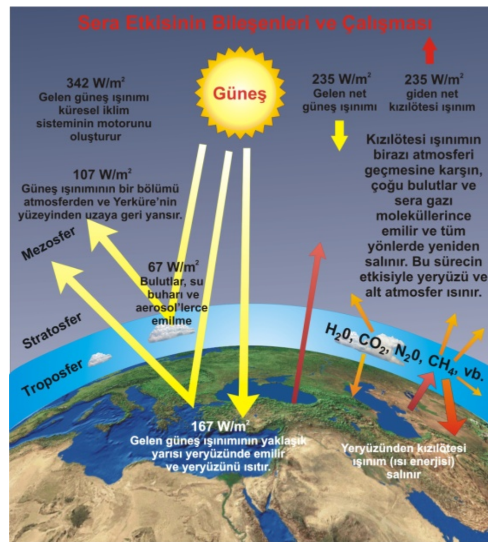
İnsan kaynaklı iklim değişikliğine neden olan başlıca olumsuz insan etkinlikleri ve eylemleri, hızla artmakta olan insan kaynaklı çeşitli salımların (emisyon) doğal bir sonucu olarak atmosferdeki ışınımsal olarak etkin/küresel ısınma potansiyelleri yüksek olan sera gazlarının (örneğin *karbondioksit* (CO_2), *metan* (CH_4), *diazotmonoksit* (N_2O), aerosollerin ve ozon katmanında incelmeye neden olan ozon bozucu maddelerin birikimlerinin (konsantrasyon)) yanı sıra, arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormansızlaşma gibi pek çok etkinlikte gözlenen sürekli ve geniş ölçekli değişiklikleri ve bozulmaları içermektedir.

Atmosferdeki Değişken Gazlar ve Aerosoller

Su buharı (H_2O), CO_2, N_2O, CH_4, çeşitli asılı parçacıklar ve ozon (O_3), değişken gazların ve aerosollerin (havada asılı durabilen ve atmosfer dolaşımıyla sınırlar ötesi yer değiştirebilen çeşitli sıvı ya da katı küçük parçacıklar; örneğin sülfat aerosolü) önemli örneklerindendir (Türkeş, 2010). Atmosferdeki birikimleri değişken ve insan etkinliklerinden etkilenen CO_2 (Şekil 8), N_2O ve CH_4 gibi önemli sera gazlarının atmosferdeki tutarları Sanayi Devrimi'nden beri artmaktadır (IPCC, 2021a; Türkeş, 2019, 2020a ve 2020b, 2021a). CO_2, CH_4 ve N_2O, hem doğal hem de antropojen (insan eylem ve etkinlikleriyle ilişkili) kaynaklara sahiptir. Bunların dışında, hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve bunların çeşitli türevlerini içeren insan kaynaklı yapay sera gazları/maddeleriyse, 20. yüzyıldan beri sanayi süreçleriyle üretilmekte ve atmosfere salınmaktadır.

Doğal Sera Etkisi

Şekil 9'dan anlaşılabileceği gibi, yerkürenin sıcaklık dengesinin kuruluşundaki en önemli süreç olan doğal sera etkisinin oluşumu atmosferin GKDB Güneş ışınımını geçirme, buna karşılık GUDB yer ışınımını tutma eğiliminde olmasına bağlıdır. Enerji akılarının nicelikleri dikkate alındığında, gelen Güneş ışınımının (342 W m^{-2}) yaklaşık % 31'i (107 W m^{-2}) yüzeyden, atmosferdeki aerosol'lerden ve bulut tepelerinden yansıyarak uzaya geri döndüğü görülür (Türkeş, 2010) (Şekil 9). Bu yüzden, yerkürenin ortalama albedosu yaklaşık % 31 ve sisteme giren Güneş ışınımı net olarak % 69'dur (235 W m^{-2}). Gelen net Güneş ışınımının, yaklaşık üçte ikisi (168 W m^{-2}) yüzey ve üçte biri (67 W m^{-2}) atmosferce emilir. Güneş enerjisinin yerküre-atmosfer birleşik sisteminde tutulan bu % 69'luk bölümü, küresel iklim sistemini oluşturan ana bileşenlerce (atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosfer) emilir ve onların ısınmasını sağlar. Sonuç olarak, Güneş ışınımının net girdisi (235 W/m^2), kızılötesi yer ışınımının net çıktısı (235 W/m^2) ile dengelenir (bkz., Çizelge 1). Fizik yasalarına göre sera etkisi olmasaydı yerkürenin salım sıcaklığı –18 °C olurdu. Gerçekte yeryüzünün ortalama sıcaklığı yaklaşık 15 °C'dir Bu açıklamalar çerçevesinde, **sera etkisi,** *atmosferdeki gazların gelen Güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalga boylu yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle, yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal süreç* olarak tanımlanabilir (Türkeş, 2021a).



Şekil 9. Sera etkisinin şematik gösterimi (Türkeş, 2010). Yerkürenin sıcaklık dengesinin kuruluşundaki en önemli süreç olan doğal sera etkisi, temel olarak, atmosferin yüksek enerjili kısa dalga boylu Güneş ışınımını geçirme, buna karşılık düşük enerjili uzun dalga boylu yer ışınımını tutma eğiliminde olması nedeniyle oluşur.



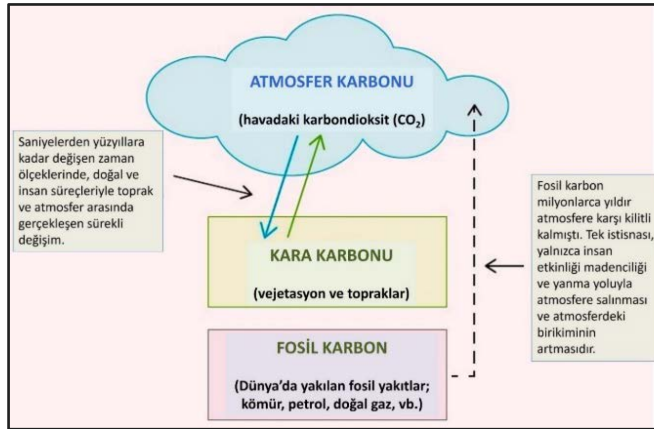
Kuvvetlenen Sera Etkisi

Çeşitli insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinde gözlenen artışlar, yerküre'nin GUDB ışınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak onu daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ışınımsal zorlamanın oluşmasını sağlar. *Yerküre/atmosfer ortak sisteminin enerji dengesine yapılan pozitif katkı*, **kuvvetlenen sera etkisi** olarak adlandırılır (Türkeş, 2021c). Bu ise, yerküre atmosferindeki doğal sera gazları (su buharı, CO_2, CH_4, N_2O ve O_3) yardımıyla yüz milyonlarca yıldan beri çalışmakta olan doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi ve küresel ısınmanın hızlanması anlamına gelmektedir (Türkeş, 2019 ve 2020a). Bu kapsamda, **küresel ısınma**, *Sanayi Devrimi'nden beri, özellikle fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, tarımsal etkinlikler ve sanayi süreçleri gibi çeşitli insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de katkısıyla doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında saptanan sıcaklık artışı* şeklinde tanımlanabilir (Türkeş, 2021a ve 2021c).

8. İNSAN KAYNAKLI İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ: FOSİL YAKITLARIN YAKILMASI VE ORMANLAŞTIRMA BAĞLAMINDA KÜRESEL ISINMA SORUNSALI

Ormansızlaşma ve Fosil Yakıt Yanmasının İklim Değişikliği Açısından Farklılaşması

Ormansızlaşmanın ve fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan, kuvvetlenen sera etkisini ve insan kaynaklı iklim değişikliğini iyi anlayabilmek için karadaki karbon ve fosil yakıt karbonu çok farklı şekillerde ele alınmalıdır (Şekil 10). Karbon, kara ve atmosfer arasında her zaman doğal olarak ve insan eylemleri yoluyla karşılıklı değişmektedir. Bu nedenle, ormansızlaşma gibi olumsuzluklar nedeniyle kara biyosferinden (toprak, bitkiler) kaybedilen karbondioksit (CO_2), basitçe zaten "aktif" karbonun karadan atmosfere aktarılmasıdır (Türkeş, 2021b). Aynı şekilde, ağaç dikmek ve ormanlaştırmak da bu aktif karbonun bir kısmını atmosferden toprağa geri döndürür. Buna karşılık, yanan fosil yakıtlardan yayılan CO_2, milyonlarca yıldır aktif kara-atmosfer karbon değişimine karşı kalıcı olarak kilitlenmiş olan karbondan gelir.



Şekil 10. Karbon, karasal biyosfer ve atmosfer arasında saniyeler, günler, on yıllar ve yüzyıllar gibi zaman ölçeklerinde karşılıklı olarak değişirken, fosil karbon milyonlarca yıldır yeraltında jeolojik rezerv olarak atmosfere karşı kilitlenmiştir. Bunun tek istisnası, fosil karbonun madencilik ve yanma yoluyla atmosfere salınması ve atmosferdeki birikiminin artmasıdır (Climate Council of Australia 2016'ya göre Türkçeleştirilerek yeniden düzenlendi).

Bu nedenle, ağaç dikerek ya da ormanlaştırma vb. gibi çeşitli yollarla karbonu atmosferden toprağa geri taşımak, fosil yakıt salımlarını ancak belirli ve küçük bir oranda dengeleyebilir. Biz sadece daha önce ormansızlaşma ve diğer arazi yönetimi etkinlikleri (örneğin tarım, sulak alanların kurutulması, vb.) yoluyla karadan atmosfere aktarılan karbonun bir kısmını



geri koymuş oluyoruz. Ayrıca, bu kara karbonu kalıcı olarak kilitli değildir; insan eylemlerinden (örneğin ormandan çeşitli amaçlarla arazi açılmasının önünü açan yasaların değiştirilmesi) ve doğal olumsuzluklar ya da tehlikelerden (örneğin orman yangınları ve böcek saldırıları) atmosfere geri dönmeye karşı savunmasızdır. Kısaca, karbonu karada depolamak dâhil, fosil yakıt salımlarını etkili bir biçimde azaltmanın yerini hiçbir şey tutamaz.

Kuşkusuz, BMİDÇS Paris Antlaşması'nın küresel ısınma hedeflerini tutturmak ve giderek hızlanıp şiddetlenen insan kaynaklı iklim değişikliğini azaltmak için ormanları koruyup geliştirerek yutak kapasitesini artırma yoluyla insan kaynaklı karbonu arazide tutmak (negatif salımlar) çok önemli bir iklim değişikliği savaşımı eylem ve politikasıdır. Ancak bunlar, doğrudan fosil yakıt kullanımını azaltma, fosil yakıtlı enerji sistemlerinden 10-15 yıllık bir dönemde (örneğin, kömürlü termik santrallerden 2030'a ya da 2035'e kadar, vb.) vazgeçmek ve güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerjilerin birincil enerji kaynakları içindeki payını artırmak (bol ve yenilenebilir ucuz elektrik), enerji tasarrufu, iklim ve çevre dostu sürdürülebilir tarım ve döngüsel ekonomi gibi çeşitli ölçeklerdeki etkili iklim değişikliği mücadele politikalarının ve eylemlerinin yerini tutmayacaktır.

Başlıca Tartışma Konuları ve Konunun Sentezi

Günümüzde (2021 yıllık ortalaması) atmosferik CO_2 konsantrasyonu milyonda yaklaşık 416.5 parça (ppm) ve 2022 Nisan ortalaması ise 420 ppm'e ulaşmış durumda (bkz., Şekil 8). Bu değerler, insanlık tarihindeki hatta son 1 milyon yıllık dönemin herhangi bir zamanından çok daha yüksektir (IPCC, 2021a; Türkeş, 2019, 2021c). Öncelikle fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO_2'deki bu artış, küresel sıcaklıklarda hızlı bir artışa neden oluyor. Karasal biyosferin bileşenleri (örneğin toprak, bitki örtüsü, sulak alanlar, vb.) atmosferden CO_2'yi uzaklaştırarak ya da atmosfere CO_2 salınmasını önleyerek iklim değişikliğinin hafifletilmesine önemli bir katkı sağlayabilir (Türkeş, 2021b). Karbonca zengin bitki örtüsünü açmak ya da yok etmekten kaçınmak ve yeniden büyüyen bitki örtüsünü (doğal ya da yapay bitkilenme, ağaçlanma, ormanlaşma, vb.) korumak, arazi sistemlerini kullanarak iklim değişikliğini hafifletmek için en etkili yaklaşımlardır (Climate Council of Australia. 2016).

Karbon bakımından zengin bitki örtüsünün korunması ve eski haline getirilmesinin, biyolojik çeşitliliğin ve su kalitesinin korunması ile uzun vadeli toprak karbon depolamasının geliştirilmesi dâhil olmak üzere birçok başka faydası vardır. Arazi temelli azaltım için diğer yaklaşımlar da faydalı olabilir. Bunlar, toprak karbonunu korumak için iyileştirilmiş arazi yönetimini, sürdürülebilir biyoenerji sistemlerinin geliştirilmesini, kıyı ve sulak alan ekosistemlerinde depolanan karbonun korunmasını içerir. Bu yüzden özellikle gelişmiş ve Türkiye gibi önemli gelişmekte olan ülkelerin, fosil yakıt salımlarını azaltma politikaları ve örneğin ormanlar ve çayır-meralar gibi yutaklarda karbon tutulumunu artırma politikaları arasında bir "güvenlik duvarı" ya da ulusal koşullara dayalı olarak belirlenmiş teknolojik, sosyal ve ekonomik bilimsel sınırlar ve/ya da geçiş hedefleri (BMİDÇS Paris Antlaşması'nda Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılarda (NDCler) yapılacak iyileştirme ve kuvvetlendirmelere dayanarak) geliştirmek, tarafların başta salım azaltma, iklim değişikliği savaşım ve uyum çabalarında şeffaflık sağlayacaktır (Türkeş, 2021e, 2021f, 2022).

Ormansızlaşma ve İklim Değişikliği

Fosil yakıtlardan kaynaklanan yıllık karbon salımları, sürdürülebilir arazi karbon azaltma yöntemleriyle depolanabilecek yıllık karbon miktarından on kat daha fazladır. Yanan fosil yakıtlar, ormansızlaşma ve diğer etkinlikler nedeniyle karbon yutaklarının yok edilmesiyle birlikte, atmosferde giderek ormanlar gibi mevcut karbon yutaklarından emilebilenden daha fazla CO_2 kalmasına ya da birikmesine katkıda bulunmuştur. Atmosferdeki CO_2, metan ve diazotmonoksit gibi sera gazlarının artan birikimleri, ısı enerjisini alt atmosferde hapsettiği için küresel ısınmayı tetikliyor. Sonuç olarak, ormanlarda karbon depolayarak, asıl olarak fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan kuvvetlenen sera etkisini ve küresel ısınmayı dengelemek



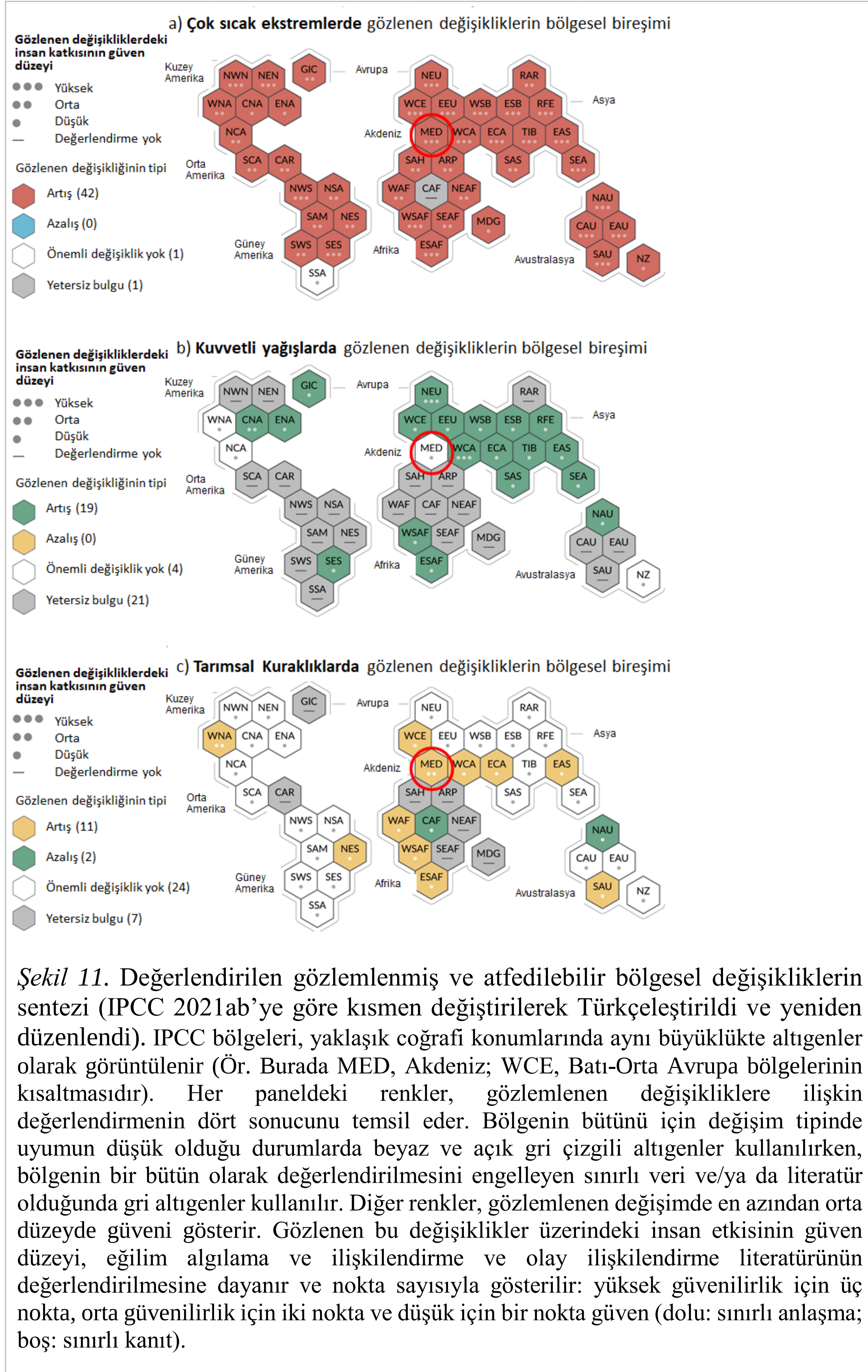
etkili ve başarılı bir politika uygulaması değildir. Bunun nedeni, fosil yakıtların atmosfere mevcut ormanların emebileceğinden çok daha fazla CO_2 pompalamasıdır. Aynı zamanda, iklim değişikliği ilerledikçe ormanlardaki karbon depoları ve diğer doğal karbon yutakları giderek daha kararsız hale gelecektir. Bugünkü durumda olanaklı görülmemekle birlikte, Paris Antlaşması kapsamında sanayi öncesine göre küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki artışı 2°C'nin oldukça altında tutarak riskler önemli ölçüde azaltılabilir, ancak bu olumsuzluklardan tümüyle kaçınılamaz. Bunun için fosil yakıtlardan kaynaklanan küresel sera gazı salım düzeylerini derinden ve hızlı bir şekilde azaltmalıyız.

9. AŞIRI HAVA VE İKLİM OLAYLARI: SICAK HAVA DALGALARI, ŞİDDETLİ YAĞIŞLAR VE KURAKLIKLAR

Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazotmonoksit (N_2O) gibi başlıca sera gazlarının atmosferdeki birikimlerinin çeşitli insan etkinlikleri nedeniyle sanayi devriminden beri hızla artması sonucunda kuvvetlenen sera etkisinin en önemli sonucu, yerkürenin enerji dengesi üzerinde ek bir pozitif ışınımsal zorlama oluşturarak, Dünya ikliminin daha sıcak ve daha değişken olmasını sağlamasıdır. Örneğin alansal ve zamansal olarak yüksek bir değişkenlikle nitelenen yağışlarda, 20. yüzyılın ortalarından günümüze değin Dünya'nın çeşitli bölgelerinde, örneğin Akdeniz Havzası ülkelerinin bazılarında ve Türkiye'de önemli azalış (kuraklıklar) ve artış eğilimleri gözlenmiş; bazı ekstrem (aşırı) olaylarda önemli değişiklikler ortaya çıkmıştır. Gözlenen değişme ve eğilimlere ek olarak, iklim model benzeşimleri, genel olarak alt troposfer ve yüzey hava sıcaklıklarında öngörülen artış eğilimi, artan termal enerji (pozitif ışınımsal zorlama) ve hızlanan ve/ya da kuvvetlenen hidrolojik döngü ile bağlantılı olarak, 21. yüzyılda Dünya'nın birçok bölgesinde aşırı hava ve iklim olaylarının ve afetlerinin sıklık ve/ya da şiddetinde artışlar olabileceğini göstermektedir.

Aşırı Sıcak Koşullarda, Kuvvetli Yağışlarda ve Kuraklıklarda Gözlenen Bölgesel Değişmeler

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin, Dünya'nın her yerindeki birçok hava ve iklim ekstremlerini (aşırılıklarını) şimdiden etkilediğini görüyoruz. Sıcak hava dalgaları, daha kuvvetli ve şiddetli yağışlar, kuraklıklar ve tropikal siklonlar gibi aşırı olaylarda gözlemlenen değişikliklerin ve özellikle bunların insan etkisine atfedilmesinin kanıtları yaklaşık son 10 yılda daha da güçlenmiştir (IPCC, 2018, 2021a; Türkeş, 2020; Türkeş, 2020a, 2020b 2021a, 2021g; Türkeş ve Erlat, 2017, 2018; Erlat *ve ark*., 2021, vb.) (Şekil 11). 1950'lerden bu yana çoğu kara bölgesinde aşırı sıcakların (Sıcak hava dalgalarını içerir.) daha sık ve daha şiddetli hale geldiği, aşırı soğukların (soğuk hava dalgaları dâhil) daha az sıklıkta ve daha az şiddetli olduğu neredeyse kesindir ve insan kaynaklı iklim değişikliği bu değişmelerin ana itici gücüdür. Son on yılda gözlemlenen bazı aşırı sıcakların, iklim sistemi üzerinde insan etkisi olmaksızın oluşması son derece düşük bir olasılıktır (IPCC, 2021a).



Şekil 11. Değerlendirilen gözlemlenmiş ve atfedilebilir bölgesel değişikliklerin sentezi (IPCC 2021ab'ye göre kısmen değiştirilerek Türkçeleştirildi ve yeniden düzenlendi). IPCC bölgeleri, yaklaşık coğrafi konumlarında aynı büyüklükte altıgenler olarak görüntülenir (Ör. Burada MED, Akdeniz; WCE, Batı-Orta Avrupa bölgelerinin kısaltmasıdır). Her paneldeki renkler, gözlemlenen değişikliklere ilişkin değerlendirmenin dört sonucunu temsil eder. Bölgenin bütünü için değişim tipinde uyumun düşük olduğu durumlarda beyaz ve açık gri çizgili altıgenler kullanılırken, bölgenin bir bütün olarak değerlendirilmesini engelleyen sınırlı veri ve/ya da literatür olduğunda gri altıgenler kullanılır. Diğer renkler, gözlemlenen değişimde en azından orta düzeyde güveni gösterir. Gözlenen bu değişiklikler üzerindeki insan etkisinin güven düzeyi, eğilim algılama ve ilişkilendirme ve olay ilişkilendirme literatürünün değerlendirilmesine dayanır ve nokta sayısıyla gösterilir: yüksek güvenilirlik için üç nokta, orta güvenilirlik için iki nokta ve düşük için bir nokta güven (dolu: sınırlı anlaşma; boş: sınırlı kanıt).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu (AR6) 1. Çalışma Grubu'nun hazırladığı **İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli Raporu**'nun (IPCC, 2021a ve 2021b) küresel iklim sistemindeki değişikliklerinin bilimsel değerlendirmesine ilişkin ana çıktıları ve mesajlarına göre, denizlerdeki ısı dalgalarının sıklığı 1980'lerden bu yana yaklaşık iki



katına çıkmıştır ve insan etkisi büyük olasılıkla en az 2006'dan beri bunların çoğuna katkıda bulunmuştur.. İnsan kaynaklı iklim değişikliği, yağışın azaldığı bölgelerde daha belirgin olmak üzere, artan hava sıcaklıklarının bir fonksiyonu olan toprak neminin buharlaşması nedeniyle bazı bölgelerde tarımsal ve ekolojik kuraklıkların artmasına katkıda bulunmuştur (Şekil 11a ve 11c). İnsan etkisi, 1950'lerden bu yana eş zamanlı aşırı olayların olasılığını artırdı. Bu, küresel ölçekte eş zamanlı sıcak hava dalgaları ve kuraklıkların sıklığındaki artışların yanı sıra, tüm yerleşik kıtaların bazı bölgelerinde yangına elverişli hava ve bazı yerlerde bileşik sel oluşumları vb. aşırı olayları içerir. Şekil 11a'da aşırı sıcaklar için, kanıtlar çoğunlukla günlük maksimum (en yüksek) sıcaklıklara dayalı ölçümlerdeki değişikliklerden elde edilir; ek olarak diğer indislerin (sıcak hava dalgasının süresi, sıklığı ve şiddeti) kullanıldığı bölgesel çalışmalardan da yararlanılmaktadır. Şekilde, kırmızı altıgenler, aşırı sıcaklarda gözlenen artışta en azından orta düzeyde güvenin olduğu bölgeleri gösterir.

Şekil 11b'de kuvvetli yağış için kanıtlar, çoğunlukla küresel ve bölgesel çalışmalar kullanılarak bir günlük ya da beş günlük yağış tutarlarına dayalı indislerdeki değişikliklerden elde edilir. Yeşil altıgenler, kuvvetli yağışta gözlenen artışta en azından orta düzeyde güvenin olduğu bölgeleri gösterir. Şekil 11c'de ise tarımsal ve ekolojik kuraklıklar, yüzey toprak nemi, su dengesi (yağış – evapotranspirasyon), yağış ve atmosferik buharlaşma istemi tarafından yönlendirilen indislerdeki değişikliklere ilişkin kanıtlarla tamamlanan toplam sütun toprak neminde gözlemlenen ve benzeştirilen değişikliklere dayalı olarak değerlendirilmiştir. Sarı altıgenler, bu tür kuraklıkta gözlenen bir artışa en azından orta düzeyde güvenin olduğu bölgeleri belirtir ve yeşil altıgenler, tarımsal ve ekolojik kuraklıkta gözlenen bir azalmaya en azından orta düzeyde güvenin olduğu bölgeleri belirtir.

Sonuç olarak, küresel ısınmadaki her artışla birlikte, ekstremlerdeki değişiklikler daha da büyümektedir. Örneğin her ek 0.5 °C'lik küresel ısınma, bazı bölgelerde büyük olasılıkla sıcak hava dalgaları ve kuvvetli yağışlar dâhil olmak üzere, aşırı sıcaklık olaylarının şiddetinde ve sıklığında belirgin artışlara ve ayrıca bazı bölgelerde tarımsal ve ekolojik kuraklıklara neden olabilecektir.

10. İKLİM DİPLOMASİSİ, BİRLEŞMİŞ MİLETLER İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVE SÖZLEŞMESİ VE KYOTO PROTOKOLÜ

İklim Diplomasisi

İklim değişikliği sorunsalının ivediliği ve karmaşıklığı diplomatik süreçlerde yaratıcı olunmasını gerektirmektedir. Bu çerçevede, **iklim değişikliği diplomasisi** (kısaca '**iklim diplomasisi**'*), bilim, teknoloji, coğrafi temsil (coğrafi çeşitlilik ve zenginliğin temsili), politik süreçler, yasalar, etik, denkserlik (hakkaniyet) ve felsefe gibi zengin bir çeşitlilik barındıran çok disiplinli ve disiplinler arası bir düzlemden gelen ve/ya da bir bilim-politika arayüzünden beslenen girdilere dayalı uzun soluklu ve çok taraflı bir politika alanı ve yaklaşımı* olarak tanımlanabilir (Türkeş, 2022). İklim değişikliği ulusal sınırların dışına taşmış küresel bir konu olmakla birlikte yerel, ulusal, bölgesel ve küresel düzeylerde bireyselden Birleşmiş Milletler'e (BM) kadar değişen geniş bir düzlemde ele alınmalıdır. Bu yüzden, devletler iklim değişikliği konularının ele alınmasında lider bir rol üstlenmek durumunda olmakla birlikte sivil toplum, yerel yönetimler, iş dünyası ve akademiyi içeren diğer aktörler de bu sürecin gerekli olan önemli paydaşlardır (Türkeş, 2021d).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Yukarıda özetlenen bu gelişmelerden sonra, *sera gazı salımlarını belirli bir yıl düzeyinde tutma ya da belirlenen bir yıla kadar istenen oranda azaltma girişimlerinin en önemlisi*, **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi** (BMİDÇS) oldu. Sözleşme'nin hazırlıkları BM **Hükümetlerarası Görüşme Komitesi** (INC) tarafından sürdürüldü. Haziran 1992'de Brezilya'nın Rio kentinde gerçekleştirilen **BM Çevre ve Kalkınma Konferansı**'nda (UNCED)



imzaya açılan sözleşmeyi, çok kısa bir sürede Haziran 1993'e kadar 166 ülke ve **Avrupa Topluluğu** (AT) imzaladı ve özleşme 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girdi (Türkeş *ve ark.*, 2000; Türkeş, 2001a). INC'nin Rio Zirvesi öncesi Mayıs 1992'de New York'ta yapılan 5. toplantısının 2. bölüm görüşmeleri sonucunda; Türkiye, **Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü** (OECD) ve pazar ekonomisine geçiş sürecindeki Orta ve Doğu Avrupa ülkeleriyle birlikte hem Ek I'e hem de OECD ülkeleriyle birlikte Ek II'ye alınmıştır (UNEP/WMO, 1995). Sonuç olarak Türkiye, BMİDÇS'nin eklerinde gelişmiş ülkeler arasında değerlendirildiği için ve bu koşullar altında özellikle enerji ilişkili CO_2 ve öteki sera gazı salımlarını 2000 yılına kadar 1990 düzeyine indirme, gelişmekte olan ülkelere mali ve teknolojik yardım vb. konularındaki yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerçeğiyle, BMİDÇS'yi Rio'da imzalamamıştır (Türkeş *ve ark*., 2000; Türkeş, 2001a).

Türkiye, yaklaşık 10 yıl süren zor ve yoğun diplomatik uğraşılardan sonra, BMİDÇS'ye Ek II'den çıkarak ve onu Ek I ülkelerinden farklı kılan özel koşulları kabul edildikten sonra 2004 yılında bir Ek I ülkesi olarak taraf olmuştur (Türkeş, 2021d). 1996 yılında Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne (TBMM) sunulmuş olan "BMİDÇS'ye Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun Tasarısı", 2003 yılında ilgili komisyonlarca kabul edildikten sonra, TBMM Genel Kurulu'nda da uygun bulunarak, 21 Ekim 2003 tarih ve 25266 sayılı Resmi Gazete'de yayımlandı. Sözleşme kuralları gereğince, Türkiye BMİDÇS'ye, 24 Mayıs 2004'te 188. (AB dikkate alındığında 189.) taraf ülke olarak kabul edildi (Türkeş, 2008).

BMİDÇS'nin nihai amacı, "*Atmosferdeki sera gazı birikimlerini, insanın iklim sistemi üstündeki tehlikeli etkilerini önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmaktır*". Sözleşmenin kalbini oluşturan sera gazı salımlarıyla ilgili yükümlülükler ise "*gelişmiş ülkelerin antropojen sera gazı salımlarını 2000 yılına kadar 1990 yılı düzeyinde tutmaları*" şeklinde yer almıştır (Türkeş, 2001a). Sözleşmenin **Yükümlülükler maddesin**de, *ülkelerin ortak fakat farklı sorumlulukları, ulusal ve bölgesel kalkınma öncelikleri, amaçları ve özel koşulları göz önünde bulundurularak, tüm taraflara insan kaynaklı sera gazı salımlarının ve iklim değişikliğinin durdurulması ve etkilerinin azaltılması* vb. gibi konularda ortak yükümlülükler verilmiştir. **Gelişmiş ülkelerin** BMİDÇS altındaki temel yükümlülüğü, insan kaynaklı sera gazı salımlarını 2000 yılına kadar 1990 düzeylerinde tutmaktı. BMİDÇS'ye göre *taraf ülkelerden her biri, insan kaynaklı sera gazı salımlarını sınırlandırarak ve sera gazı yutak ve haznelerini koruyarak iklim değişikliğini azaltmak için ulusal politikalar benimseyecek ve uygun önlemler alacaktır*. Sözleşmenin amacına uygun olarak **gelişmiş ülkeler,** *insan kaynaklı salımların uzun süreli eğilimlerini değiştirmede öncü rol oynayacaklarını gösterecek ve Montreal Protokolü ile denetlenmeyen sera gazlarının insan kaynaklı salımlarının daha önceki düzeylerine çekilmeleri vb. değişikliklere katkıda bulunacaktır* (UNEP/WMO, 1995; Türkeş, 2021d).

BMİDÇS Kyoto Protokolü

Küresel düzeydeki insan kaynaklı sera gazı salımlarını 2000 sonrasında azaltmaya yönelik yasal yükümlülükleri **BMİDÇS Kyoto Protokolü** (KP) düzenlemektedir. KP'ye göre Ek I tarafları (OECD, AB ve eski sosyalist Doğu Avrupa ülkeleri), KP Ek A'da listelenen sera gazlarını (CO_2, CH_4, N_2O, Hidrofluorokarbonlar (HFC'ler), Perfluorokarbonlar (PFC'ler) ve Sülfür heksafluorid (SF6)) 2008-2012 döneminde 1990 düzeylerinin en az % 5 altına indirmekle yükümlüdür (UNEP/CCS, 1998; Türkeş, 2008). Bazı taraflar, bu ilk yükümlülük döneminde sera gazı salımlarını artırma ayrıcalığı alırken (örneğin Avustralya % 8 arttırabilecek), Yeni Zelanda, Rusya Federasyonu ve Ukrayna'nın sera gazı salımlarında 1990 düzeylerine göre herhangi bir değişiklik olmayacaktır. AB, hem birlik olarak hem de üye ülkeler açısından % 8'lik bir azaltma yükümlülüğü almıştır. ABD'nin salım azaltma yükümlülüğü % 7 idi.

KP'nin ve Kyoto düzeneklerinin uygulanmasına ilişkin yasal kuralların çerçevesi, Temmuz 2001'de kabul edilen Bonn Anlaşması ile çizildi (Türkeş, 2001b). Bonn Anlaşması'nın içerdiği ana politik uzlaşma konuları ise Kasım 2001'de Fas'ın Marakeş kentinde yapılan BMİDÇS

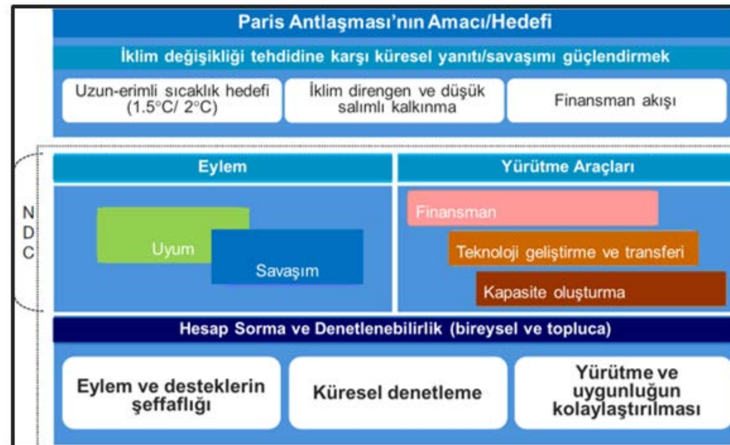


Taraflar Konferansı'nın 7. toplantısında (TK-7) kabul edilen Marakeş Uzlaşmaları'yla yasal metinlere dönüştürüldü (Türkeş, 2008). Kyoto düzenekleri (Ortak Yürütme, Temiz Kalkınma Düzeneği ve Salım Ticareti), gelişmiş ülkelere, sera gazı salımlarını buna bağlı olarak da iklim değişikliğinin etkilerini azaltma etkinliklerini en düşük maliyetle yüklenmek için ulusal sınırlarının dışına çıkma kolaylığı sağlar (Türkeş *ve ark*., 2000; Türkeş, 2001a). Türkiye'nin "*BMİDÇS KP'ye Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun Tasarısı (Kanun No. 5836)*" Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 5 Şubat 2009'da kabul edildi. 5836 No.lu Kanun 17 Şubat 2009'da 27144 Sayılı Resmî Gazetede yayımlandı. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne katılımı (taraf olması), resmi uygun bulma belgesinin 28 Mayıs 2009'da BM'ye sunulmasından sonraki 90. günde, 26 Ağustos 2009'da yürürlüğe girmiş oldu. Türkiye'nin ismi 1997 tarihli Kyoto Protokolü Ek-B'de listelenen gelişmiş ülkelerin arasında bulunmadığı, bu yüzden herhangi bir sera gazı azaltma yükümlüğü almadığı ve BMİDÇS'ye Ek-II'den çıkarak bir Ek-I ülkesi olarak taraf olma isteği BMİDÇS 7. Taraflar Konferansı'nca kabul edildiği için, gerçekte Türkiye, o tarihte KP kapsamında kendisi için en uygun olası iklim değişikliği savaşımını görüşmeler yoluyla belirleme olanağına kavuşmuştu (Türkeş, 2017a).

11. BMİDÇS PARİS ANTLAŞMASI VE SONRASI

Paris Antlaşması Ana İlkeleri ve Hedefleri

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) **Paris Antlaşması**, 30 Kasım-13 Aralık tarihlerinde Paris'te gerçekleştirilen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda, ülkelerin çok büyük bir bölümünce imzalanarak kabul edildi. 12 Aralık 2015'te 196 taraf ülkece kabul edilen BMİDÇS Paris Antlaşması, çok kısa sürede 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girdi. **Paris Antlaşması**, tarafların 2020 yılından başlayarak küresel iklim sistemini koruma, iklim değişikliğiyle savaşım ve/ya da sınırlandırmaya yönelik salım azaltım yükümlülüklerini daha doğrusu "***niyetlerini***" kapsayan yasal olarak bağlayıcı bir küresel antlaşma olarak kabul gördü.



Şekil 12. Paris Antlaşması'nın ana amacı/hedefi, işlev ve genel işleyiş düzeneklerinin sadeleştirilmiş çizimsel gösterimi (Türkeş, 2021e, 2021f; Tubua 2020'ye göre değiştirilerek yeniden çizildi.)

Paris Antlaşması'nın ana amacı, *küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi düzeylerinin 2°C'nin olabildiğince altına çekmek ya da olanaklıysa 1.5°C'de sınırlandırmanın yanı sıra, sırasıyla düşük sera gazı salımlı ve iklim direngen bir toplum ve kalkınma yoluyla uyumlu finansman akışının sağlanması* olarak belirlenmiştir (Şekil 12). Paris Antlaşması'nın küresel sıcaklıklardaki artışın sınırlandırılmasına yönelik uzun süreli hedefi, *taraf ülkelerin ana amacı olarak belirlenen en kısa sürede insan kaynaklı CO_2 salımlarının küresel tepe noktasından yüzyılın ortasına kadar iklimin dengeli olduğu bir yerküre amacına uygun bir hızla azaltılması* şeklinde özetlenebilir. Paris Antlaşması'nı çok taraflı iklim değişikliği sürecindeki bir dönüm noktası olarak gören çevreler de var. Bu iyimser düşüncenin temelinde, Paris Antlaşması'nda -BMİDÇS ve Kyoto



Protokolü'nden farklı olarak- taraf ülkelerin ekler aracılığıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler şeklinde ayrılarak farklı yükümlülükler verilmemiş olması, başka bir deyişle tüm tarafların gönüllü katkılarının alınmasının amaçlanmış oluşu yatmaktadır.

Paris Antlaşması'nın, taraflarca yürütülecek olan artan düzeyde azimkâr ya da güçlendirilmiş iklim eylemlerinin 5'er yıllık döngülerine dayanarak çalışması öngörülmüştür (Türkeş, 2021e). Bu kapsamda, taraf ülkeler 2020 yılına kadar "**ulusal olarak belirlenmiş katkılar"** (NDCler) olarak bilinen iklim eylemleri için kendi planlarını sunmakla yükümlü olacaktır (Şekil 12). Ülkeler NDC'lerinde, Paris Antlaşması hedeflerine ulaşmak amacıyla kendi sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik eylemleri garantiye alacaktır. Ayrıca taraf ülkelere kendi NDC eylemlerinde küresel ısınmanın etkilerine uyum için direngenlik oluşturacak eylemleri bildirecektir. Kasım 2021 Glasgow toplantısından sonra çoğu eylem, yükümlülük ve zamanlamalarında önemli gecikme ve yeni ertelemeler oldu.

Türkiye Cumhuriyeti, 10 Kasım 2021 tarihinde BMİDÇS Paris Antlaşması'na resmi olarak taraf oldu. Türkiye 2015 yılında sunmuş olduğu -bir referans senaryoya (BAU) göre sera gazı salımlarını 2030 yılında % 21 oranına kadar azaltma hedeflerini içeren- **Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı'**ndaki önceki hedefini "2035'te % 45'e kadar" şeklinde değiştirerek hızla kömürlü termik santralleri devreden çıkarmalı, fosil yakıtlara verdiği her türlü desteği kesmeli, rüzgâr ve güneş başta gelmek üzere yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan -daha güvenli, bol ve ucuz- elektrik enerjisinin birinci enerjinin içindeki payını artırmalıdır.

Glasgow Konferansı'nın Ana Sonuçları ve Glasgow İklim Paktı

1-13 Kasım 2021 tarihlerinde İskoçya'nın Glasgow kentinde gerçekleştirilen **BMİDÇS 26. Taraflar Konferansı**'ndan (TK-26), konuyla ilgili tüm kesimlerde, bilim dünyasında, STK'larda, BM kuruluşlarında ve taraflarda beklenti çok yükselmişti (Türkeş, 2021f). Glasgow Konferansı'nda ülkeler bazı konularda ilerleme sağlamakla birlikte, iklim değişikliği savaşımı ve Paris Antlaşması'nın 1.5 °C ve 2 °C küresel ısınma hedeflerinin tutturulması vb. yaşamsal konularda gerekli olan ve ısrarla gerçekleştirilmesi beklenen "*daha güçlü, daha azimkâr sera gazı azaltım yükümlülüklerinin kabulü*", "*fosil yakıtların özellikle kömür kullanımının hızla terkedilmesi*" ve "*etkilenebilirliği yüksek gelişmekte olan ve az gelişmiş yoksul ülkelerin gereksinim duyduğu iklim finansmanının sağlanması*" vb. konularında olması gereken ilerleme sağlanamadı, birçok konudaysa başarısız olundu. Dahası, tıpkı **Paris Antlaşması**'nın kendisinin de bu düşünsel yaklaşımla oluşturulmuş ve yaygın bir kabul görmüş olmasına benzer şekilde, "*En kötü anlaşma/uzlaşma hiç anlaşma/uzlaşma olmamasından daha iyidir.*" ön savı temel alınarak "**Glasgow İklim Paktı**" taraflarca kabul edildi (Türkeş, 2021h, 2022). Glasgow'daki hükümetlerarası görüşmeler, bazıları ilk ve çığır açan yükümlülüklerin, kömür kullanımının devre dışı bırakılması zamana yayılmış olmasına karşın, ilk kez resmi karar metinlerinde yer alması, bazılarınca açık ve yeterli görülmeyen karbon piyasaları kuralları vb. konular, 2022 dâhil önümüzdeki yıllar içinde gerçeklere karşı sınanması gerekecek olan "Paris Antlaşması'nın 1.5-2 °C küresel ısınma hedeflerine ulaşılması" gibi bazı büyük beklentileri de üretti.

Hükümetler 2015 Paris Antlaşması'nı kabul ettiğinden beri başta **güneş, rüzgâr, piller ve diğer yenilenebilir teknolojilere** 2.2 trilyon Amerikan dolarından fazla para harcadı. Bu, elektrikli arabalardan elektrik şebekelerine kadar tüm endüstrileri değiştirebiliyor. **Uluslararası Enerji Ajansı** (IEA) **Dünya Enerji Görünümü 2021 Raporu**'nun (IEA, 2021) "*Teknoloji ve Bölgelere Göre 2020-2050 Dönemindeki Seçilmiş Temiz Enerji Teknolojileri İçin Kestirilen Pazar Payları*" bölümündeki kestirimlere göre, **2050'ye Kadar Net Sıfır Salım Senaryosu** altında 2050'ye kadar en fazla yatırım gerektiren teknolojiler, büyüklük sırasıyla **bataryalar (piller), açık deniz rüzgâr enerjisi ve yakıt hücresi**dir. Tek başına **pillerin**, kestirilen toplam 1.2 trilyon Amerikan dolarlık pazar payının % 70'ine ulaşacağı öngörülüyor. Öte yandan, toplumun iklim değişikliğiyle savaşmak için hiçbir şey yapmadığı ve yüzyılın ortasına kadar küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının 3.2 °C yükseldiği daha ciddi bir senaryoya göreyse küresel ekonomi, ısınmanın olmadığı bir dünyadan % 18 daha küçük olacaktır. İklim değişikliğinin



neden olacağı ekonomik kayıpların etkisi, özellikle tüm ülkelerdeki yoksul toplumlar ile en az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, zengin/refah toplumlarındaki ve gelişmiş ülkelerdekilerden çok daha ağır hissedilecek ve yaşanacaktır. Bu nedenle, iklim değişikliği savaşımının yanı sıra, iklim değişikliğine uyum için iklim dirençli toplum ve sektörler oluşturmak ve etkilenebilirlikleri azaltmak için ivedi ve güçlü adımlar atmak yaşamsaldır (IPCC, 2022c; Türkeş, 2021f, 2021i, 2022).

12. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELE POLİTİKALARI

IPCC'nin açıkladığı raporlar, insan faaliyetleri sonucunda atmosfere bırakılan sera gazlarının insanlık tarihindeki zirve değere ulaştığını, küresel sıcaklık artışının +1.5°C ile sınırlandırılması için insan kaynaklı küresel net karbon salımlarının 2030 yılına kadar 2010 yılı değerlerine kıyasla yüzde 45 oranında azaltılması gerektiğini belirtmektedir. Veriler, küresel sera gazı salımlarının sektörel bazlı analizinde tüm sektörlerde artışların yaşandığını; salımların % 25'inin elektrik ve ısı üretimi, % 24'ü tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları, % 21'i sanayi, % 14'ü ulaştırma, % 6'sı binalar ve % 10'unun - elektrik ve ısı üretimi dışındaki - diğer enerji etkinlik ve süreçlerinden kaynaklandığını göstermektedir (IPCC, 2014; Türkeş, 2021c, 2022). İklim değişikliği ile mücadelede emisyon azaltımı, iklim değişikliğine uyum, iklim değişikliği ile mücadele için teknoloji transferi, finansman, ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırma ve kapasite geliştirme gibi temel politika alanları bulunmaktadır (OECD, 2007; Cerit Mazlum, 2019; Arı, 2022, Türkeş, 2022).

Sera gazlarının salımlarının azaltımında, salım yoğunluğu açısından ulaştırma sektörü, enerji sektörü, binalar, sanayi, yerleşme, şehirleşme, tarım, ormancılık ve arazi kullanımı gibi sektörler ön plana çıkmaktadır (Arı, 2022). Söz konusu sektörler Sanayi Devrimi'nden bugüne kadar geçen süreçte insan faaliyetlerinin en fazla gerçekleştiği sektörler olup; bu sektörlerdeki hammadde, malzeme ve enerji kullanımı hem çevre kirliliğine hem de atmosfere salınan sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır.

Enerji arzı tarafında, enerji sektörünün emisyon azaltımında, yenilenebilir enerji politikaları önemli bir yer tutmaktadır. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı hem salım azaltımına katkı sağlamakta hem de çevresel kirliliğin önüne geçmektedir (IRENA, 2020). Enerji konusunda enerji verimliliği de oldukça önemli bir başlıktır (Shura, 2020; IEA, 2021; IEA, 2022). Enerjinin, binalarda, ulaştırma ve üretim süreçlerinde verimli kullanımı hammadde ihtiyacını azaltmaktadır. Özellikle birincil enerji kaynakları arasında değerlendirilen madenlerdeki enerjinin kullanılması, taşınması ve dönüştürülmesinde hem çevre kirliliği ortaya çıkmakta hem de emisyon oluşmaktadır. Talep tarafındaki enerjide davranışsal yaklaşımlar yani tüketicinin ve nihai kullanıcının enerji talebi, enerjiyi verimli kullanımı, enerji talep yönetim sistemleriyle enerjiyi yararlı hale getirmesi önemlidir. Talep tarafında enerji kullanımını düşürecek unsurların iklim değişikliği ile mücadelede önemli olduğu düşünülmektedir.

İnsan kaynaklı sera gazı salımlarının azaltımında öncelikli ele alınması gereken enerji yoğun sektörlerden biri, ulaştırma sektörüdür. Ulaştırmada emisyon azaltımı için elektrifikasyon yöntemi yani elektrikle çalışan araçların kullanımı gündemdedir (Güray ve Merdan, 2021). Elektrifikasyon için düşük karbonlu yakıtların tercih edilmesi, yenilenebilir ve sınırlı da olsa nükleer enerji kaynaklarından enerji temini üzerinde durulmaktadır. Ayrıca hidrojen teknolojilerinin, hidrojen yakıtlarının ve biyo yakıtların ulaştırma sektöründe kullanılması önerilmektedir (Agora Energiewende, 2021). Yakıt verimi yüksek motorların, hammadde olarak geri kazanılmış malzemelerin kullanımı, emisyon azaltım önlemleri arasındadır. Enerji ve emisyon yoğunluğu yüksek olan karayolu ve havayolu ulaşımı yerine demir yolu ile ulaşımın teşvik edilmesi ve gerekli alt yapıların hazırlanması da emisyon azaltımında önemli bir diğer seçenektir.

Konutlar, hizmet binaları ve ticari binalardan oluşan bina sektörünün bulunduğu inşaat sektörü (2020 yılı verilerine göre) enerji kullanımının % 36'sından, karbon salımının ise %37'sinden sorumludur (UNEP, 2021). Binalarda emisyon azaltımı için enerji verimliliğinin



yaygınlaştırılması, alan ve bölge ısıtma sistemlerinde daha verimli teknolojilerin kullanılması, aydınlatma ve elektrikli ev aletlerinde daha az enerji ile yüksek verimin alındığı teknolojilerin veya aletlerin kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte binaların yapımı, binalarda kullanılan malzeme, binaların tasarımı ve binalarda tercih edilen ekipmanlar da emisyonların azaltılmasında önemlidir. Binalarda enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerjinin ve düşük karbonlu teknolojilerin kullanımı emisyon azaltımında önemli bir politika seçeneğidir.

Sanayi sektöründe, salım azaltımı için özellikle imalat sanayindeki süreçlerin yeniden tasarlanması gerekmektedir. Sanayide üretim sürecinin yeniden tasarlanması hem hammadde ihtiyacının azaltılmasını hem de sürece uygun teknolojilerin kullanımı ile salım azaltımını sağlamaktadır. Sanayide kullanılan enerjide, ısıl (enerji) değeri yüksek kaynakların tercih edilmesi ve düşük karbonlu elektrik sistemlerine geçiş önemli fırsatlar sunmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı hem enerji yoğunluğunun daha düşük olması; hem de ek hammadde ihtiyacını azaltması nedeniyle önemlidir. Sanayideki üretim ve inşa tasarımlarına dikkat edilmesi, birim başına enerji tüketiminin göz önünde bulundurulması ve buna uygun olarak sanayide verimi yüksek, enerji yoğunluğu ve emisyon yoğunluğu düşük tasarımların tercih edilmesi önemlidir. Sanayide dayanaklı ürünlerin tercih edilmesi; hammadde, ara madde veya süreçlerdeki ilave ekipmanlara talebi, enerji kullanımı ve emisyonları azaltmaktadır (Arı, 2022). Sera gazı azaltımında odaklanılması gereken bir diğer nokta salımları yüksek olan kentler, kentsel alanlardır. Kentsel alanlardaki enerjinin doğru kullanımı, alan ısıtma, alan soğutma, elektrik kullanımı, kentsel bölgelerdeki üretim, tüketim veya hizmetler şeklindeki ekonomik faaliyetlerin, bir şehir planı içerisinde daha az enerji kullanan akıllı şebekelerle tasarlanması önemlidir (Arı, 2022).

Tarım, ormancılık ve arazi kullanımı sektörlerinde, emisyon kaynaklarının nötrlenmesi ve atmosferdeki karbon emisyonlarının tutulması ve yeryüzünün albedosunun çok fazla değiştirilmemesi açısından oldukça değerlidir. Emisyonlar açısından bakıldığında tarımsal faaliyetler metan emisyonlarına neden olmaktadır. Hayvancılık ve gübre yönetiminde alınacak tedbirler, metan ve diazotmonoksit salımlarının azaltılmasında önemlidir. Önemli bir yutak alanı olan ormanların korunması ve ormanlaştırma hem emisyonların tutulumu hem de albedo açısından değerlidir. Fosil yakıt kullanımının hızla azaltılmasına ek olarak, atmosferdeki karbondioksit emisyonlarının tutulma oranını artırmak için mevcut ağaçlandırma faaliyetlerine devam edilmelidir. Doğal ekosisteme, yaşam alanlarına ve yaşam birliklerine zarar vermeden, ormanlardaki zayıf bitki artıklarından elde edilecek biyoyakıtlar da emisyon azaltımına katkı sağlayabilmektedir. Ancak emisyon azaltımında öncelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji tasarrufunun artırılması ve başta kömürlü termik santraller fosil yakıtların kullanımı hızla terk edilmelidir. Tarımdan kaynaklı emisyonların azaltımında gıda kayıplarının ve israfının en aza indirilmesi, emisyon yoğunluğu düşük gıdaların ve ev yapımı (mutfak) yemekleri tercih edilmesi gerekmektedir. Elektrik üretiminde, sanayi, ulaştırma, binalar ve tarımda enerji verimliliğine dikkat edilmelidir. Kapasite geliştirme, iklim değişikliği ile mücadele ve uyum konusunda önemli bir çalışma alanıdır.

13. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDEN ETKİLENEBİLİRLİK VE UYUM

En geniş anlamıyla var olan sosyal coğrafya (Ekonomi, nüfus, enerji, sanayi, enerji coğrafyası vb.ni içerir.) ve fiziki coğrafya (Atmosfer, hava ve iklimi, hidrolojiyi ve su kaynaklarını, jeomorfolojiyi, ekolojiyi, bitki örtüsünü, toprağı vb.ni içerir.) koşullarımız ve çevremiz günümüzde bir geçiş evresindedir ve toplumların gelecekteki fonksiyonlarının nasıl olacağına ilişkin önemli göstergeler sergilemektedir. Çeşitli adaptasyon (uyum) kapasitelerine sahip olan ülkeler, etkileri farklı yollarla ele alabilirken; etkin, deneyimli, kararlı ve iklim direngen kurumları ve sosyoekonomik sektörleri olmayan birçok gelişmekte olan ülke ve kırılgan devletler (küçük ada devletleri, alçak kıyı ve kurak iklim ülkeleri, vb.), iklim değişikliğinden daha fazla etkilenmektedir. Bu durum gelecekte yüksek olasılıkla daha da kuvvetlenecektir. Bu konu, burada ağırlıklı olarak IPCC 6. Değerlendirme Raporu İkinci Çalışma Grubu'nun 2022 Şubat

sonunda tamamlanan "İklim Değişikliği: Etkiler, Uyum ve Etkilenebilirlik" başlıklı konuya ilişkin en güncel raporuna dayanılarak ana çizgileriyle ele alınmıştır (IPCC, 2022a, 2022b).

Öncelikle **etkilenebilirlik** ve **uyum** kavramlarını tanımlamak, konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. **İklim değişikliğinden etkilenebilirlik,** "*bir topluluk ya da sistemin (fiziki coğrafyaya ilişkin ve ekolojik sistemin ya da sosyoekonomik sektörün) iklim değişikliği stresinden etkilenme ya da etkiye açık olma derecesi, gerilimi karşılama ya da yanıtlama düzeyi (duyarlılık) ve iklim değişikliklerine uyum düzeyi ya da uyum kapasitesi arasındaki ilişki*" şeklinde tanımlanabilir (Türkeş, 2021i). IPCC'ye (2022b) göre **insan sistemlerinde uyum**, zararı azaltmak ya da iyi fırsatlardan yararlanmak için var olan ya da beklenen iklime ve etkilerine uyarlanma sürecidir. **Doğal sistemlerde uyum** ise, güncel iklime ve etkilerine uyarlanma sürecidir. Öte yandan **maladaptasyon,** artan sera gazı salımları, iklim değişikliğine karşı artan ya da değişen etkilenebilirlik, daha adaletsiz sonuçlar ve şimdi ya da gelecekte azalan refah dâhil olmak üzere iklimle ilgili olumsuz sonuçların riskinde artışa yol açabilecek "**yanlış uyum"** eylemleridir (IPCC, 2022b).

1. Ekosistemlerin ve İnsanların Etkilenebilirliği: Ekosistemlerin ve insanların iklim değişikliğine karşı etkilenebilirliği, kesişen sosyoekonomik kalkınma kalıpları, sürdürülemez okyanus ve arazi kullanımı, eşitsizlik, marjinalleşme, sömürgecilik ve yetersiz yönetişim gibi tarihsel ve süregelen eşitsizlik kalıpları tarafından yönlendirilen, bölgeler arasında ve içinde önemli ölçüde farklılık gösterir. Günümüzde yaklaşık 3.3 ila 3.6 milyar insan iklim değişikliğine karşı oldukça savunmasız durum ve koşullarda yaşıyor. Türlerin yüksek bir oranı iklim değişikliğinin etkilerine açıktır. İnsan ve ekosistem etkilenebilirliği birbirine bağlıdır. Öte yandan, iklim değişikliğinin etkileri ve riskleri giderek daha karmaşık ve yönetilmesi daha zor oluyor. Örneğin, aynı anda birden fazla iklim tehlikesi oluşabilecek ve birden fazla iklimsel ve iklimsel olmayan risk etkileşime girebilecek; buysa genel riskin ve sektörler, bölgeler arasında basamaklanan risklerin birleşmesi ile sonuçlanacaktır (Şekil 13). İklim değişikliğine verilen bazı yanıtlarsa yeni etkiler ve risklerle sonuçlanabilir.



Şekil 13. Eş zamanlı aşırı olayların (ekstremler) riskleri birleştirmesinin bazı örneklerle birlikte çizimsel gösterimi ([6]'dan Türkçeleştirerek kısmen değiştirildi]. Buna göre, riskleri birleştiren sıklık ve şiddetleri artan sıcak hava dalgaları ve kuraklıklar gibi çoklu aşırı olayların yönetilmesi daha zordur.

2. Geleceğe Uyum Seçenekleri ve Fizibiliteleri: İnsana ve doğaya yönelik riskleri azaltabilecek uygulanabilir ve etkili uyum seçenekleri vardır. Kısa vadede uyum seçeneklerinin uygulanmasının fizibilitesi sektörler ve bölgeler arasında farklılık gösterir. İklim riskini azaltmak için uyumun etkinliği, belirli bağlamlar, sektörler ve bölgeler için belgelenmiştir ve artan ısınma ile azalacaktır. Bu kapsamda, sosyal eşitsizlikleri ele alan, iklim riskine dayalı yanıtları farklılaştıran ve sistemler arası geçişi sağlayan kamucu, sosyal, bütüncül, çok sektörlü çözümler,



birden çok sektörde uyumun fizibilitesini ve etkinliğini artırır. Dahası, gözlenen etkilerin kanıtı, öngörülen riskler, etkilenebilirlik düzeyleri ve eğilimleri ve uyum sınırları, Dünya ölçeğinde iklim direngen kalkınma eyleminin yaklaşık 10 yıl önce değerlendirildiğinden daha acil olduğunu göstermektedir. Kapsamlı, etkili ve yenilikçi yanıtlar ya da karşı önlemler, sürdürülebilir kalkınmayı ve ilerlemeyi sağlamak için sinerjilerden yararlanabilir ve uyum ile iklim değişikliği savaşımı arasındaki ödünleşimleri azaltabilir.

3. İklim Direngen Kalkınma: Herkes için sürdürülebilir kalkınmayı ilerletmek için uyum önlemlerini ve bunların etkinleştirme koşullarını iklim değişikliği mücadelesiyle bütünleştirir. Dahası karalarda, okyanuslarda ve ekosistemlerde eşitlik ve sistem geçişleri ile ilgili soruların yanı sıra, kent ve altyapı, enerji, sanayi, toplum ve insan, ekosistem ve gezegenin sağlığı için gerekli uyum eylem ve uygulamalarını içerir. İklim direngen kalkınmayı geliştirme yolları, sürdürülebilir kalkınmayı ilerletmek için iklim değişikliği savaşımı ve uyum eylemlerini başarılı bir şekilde bütünleştiren kalkınma yollarıdır. Özellikle küresel nüfusun yaklaşık % 11'i (896 milyon kişi) 2020'de Alçak Uzanımlı Kıyı Kuşağı'nda yaşadığı ve 2050 yılına kadar potansiyel olarak 1 milyarın üzerine çıkacağı düşünüldüğünde, kıyı şehirleri ve yerleşim birimleri daha yüksek iklim direngen kalkınmaya doğru ilerlemede kilit bir rol oynamaktadır. İkinci olarak, kıyı şehirleri ulusal ekonomiler ve iç bölge toplulukları, küresel ticaret tedarik zincirleri, kültürel değişim ve yenilik merkezlerindeki yaşamsal rolleri aracılığıyla iklim direngen kalkınmaya önemli düzeylerde katkıda bulunur.

4. Biyoçeşitliliğin ve Ekosistemlerin Korunması: Biyoçeşitliliğin ve ekosistemlerin korunması, iklim değişikliğinin kendilerine getirdiği tehditler ve bunların uyum ve etkileri hafifletmedeki rolleri ışığında iklim direngen kalkınmanın temelidir. Küresel ölçekte biyoçeşitliliğin ve ekosistem hizmetlerinin dayanıklılığının korunmasının, doğala yakın ekosistemleri de içeren Dünya'nın kara, tatlı su ve okyanus alanlarının yaklaşık % 30 ila % 50'sinin etkin ve adil bir şekilde korunmasına bağlı olduğunu göstermektedir. Biyoçeşitliliğin iklim değişikliğine karşı direngenliğini oluşturmak ve ekosistem bütünlüğünü desteklemek, geçim kaynakları, insan sağlığı ve esenliği, gıda, lif ve su sağlanması dâhil olmak üzere insanlara olan yararların yanı sıra afet riskinin azaltılmasına, iklim değişikliğine uyum ve savaşıma da katkıda bulunabilir.

14. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Atmosferdeki sera gazı salımlarının yüzde 77'si; petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanmasıyla oluşur. Günümüzde, başlıca sera gazlarından olan CO_2'nin atmosferdeki miktarı, doğanın kabul edebileceğinden çok daha hızlı artmaktadır. Bunun sonucunda, yeryüzünün ortalama yüzey sıcaklığı sanayi öncesi döneme oranla yaklaşık 1.2°C artmıştır. Enerji üretiminde ve tüketimindeki tüm süreçlerde açığa çıkan emisyonlar, iklim değişikliğinin en önemli nedenidir. Buna ek olarak kömür ve doğal gaz gibi yakıtların kullanımı, sera gazlarının yanı sıra azot oksitleri (NOx) ve sülfür oksitler gibi zehirli gazları açığa çıkarmakta, bu gazlar asit yağmuru gibi yarattığı hava kirliliği yoluyla birçok sağlık ve çevre sorununa neden olmaktadır.

Enerji verimliliği, karbon salımlarının azaltılmasında, dolayısıyla iklim değişikliğinin etkilerinin hafifletilmesinde önemli bir role sahiptir. Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Enerji verimliliği politikaları, bir taraftan ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkili olması diğer taraftan ise toplam sera gazı salımlarının azaltılmasında oynadığı kilit rol nedeniyle, hassasiyetle ele alınması gereken alanların başında gelmektedir [7] .

BM 7. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı olan "Erişilebilir ve Temiz Enerji Amacı," 2030'a kadar küresel enerji verimliliği ilerleme oranının iki katına çıkarılması ve enerji verimliliği için yatırımların artırılması çağrısında bulunmaktadır. İklim değişikliğiyle mücadelede vazgeçilmez öneme sahip olan enerji verimliliği, artan enerji ihtiyacı için doğal kaynakların tahribini önlemenin yanı sıra ekonomik açıdan da kârlıdır. WWF-Türkiye tarafından



yayımlanan **İklim Çözümleri 2050: Türkiye Vizyonu** adlı rapor, 2020-2025 yılları itibariyle nüfus ve kalkınma düzeyi artarken, enerji verimliliği sayesinde, enerjiye tahmini talebin yılda yüzde 39 oranında azaltılabileceğini ifade etmektedir. Çalışmalar, 2010-2030 yılları arasında; ulaşım, binalar ve sanayide verimlilik sağlanması ve yeni teknolojilere yönelik 8.3 trilyon ABD dolarlık yatırımın gerçekleşmesi durumunda; aynı dönemde küresel ölçekte 8.6 trilyon ABD doları tasarruf edilebileceğini ortaya koymaktadır (WWF, 2011). Başka bir deyişle, verimlilik için yapılan yatırımlar kendi kendini karşılamaktadır. Yapılan bir başka araştırma Türkiye'nin de aralarında bulunduğu Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi ülkeler için, enerji verimliliğinin iki katına çıkmasının uzun vadede karbondioksit emisyonlarının yüzde 55 azalması ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Özbuğday ve Erkol, 2015). Çalışmada, yenilenebilir enerji kullanımı, imalat sektöründen hizmet sektörüne geçiş, nüfus artışı gibi ülke bazında karbondioksit emisyonlarını etkileyen faktörler ile karşılaştırıldığında; enerji verimliliğinin, emisyonların azaltımında, uzun vadede önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Haziran 2022'de yayımladığı rapor; pandemi sonrasında enerji fiyatlarındaki artışın şiddetli etkilerini ele alarak, enerji verimliliğinin hayati rolünün altını çizmektedir (IEA, 2022). Rapor, daha hızlı gerçekleştirilecek enerji verimliliği eylemlerinin Çin'in toplam enerji talebine eş değer enerji kullanımını azaltabileceğini göstermektedir [8]. Avrupa Birliği (AB) için enerji verimliliği, enerji ve iklim politikasının en önemli bileşeni olup; enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için enerji verimliliği hedeflerini artırmaktadır [9]. Enerji verimliliğini artırmak, ülkelerin enerji güvenliğini sağlamaları ve sera gazlarını azaltma sözlerine ulaşmalarında en önemli unsurlardan biridir.

Türkiye'de nüfus ve refah düzeyindeki artışa bağlı olarak, enerji tüketim miktarı ve ülkenin enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı artmaktadır. Türkiye'de enerji ekonomisi bakımından çeşitli arz-talep politikaları geliştirilmiş olsa da dışa bağımlılığın önüne geçilememiştir. Avrupa Birliği İstatistik Ofisi'nin (Eurostat) verilerine göre enerjide dışa bağımlılıkta Türkiye 36 Avrupa ülkesi içinde 9. sırada yer almakta ve kullandığı enerjinin yüzde 71'ini ithal etmektedir [10]. Enerji tedariğinde dışa bağımlı olan ve enerji kayıplarının fazla olduğu ülkelerde, enerji tasarrufu ve enerji verimliliği için devlet politikaları oluşturulmakta ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik yatırımlar hayata geçirilmektedir (Duman Altan ve Sağbaş, 2020).

Uluslararası Enerji Ajansı, enerji arz güvenliğini, "enerji kaynaklarının satın alınabilir bir fiyattan kesintisiz bir şekilde ulaşılabilirliği" şeklinde tanımlamaktadır. Enerji arz güvenliğin sağlanmasında, % 71'ler seviyesinde olan dışa bağımlılık oranı ve bundan kaynaklanan risklerin azaltılmasında ve iklim değişikliğiyle mücadelede etkinliğin artırılmasında, enerjinin üretiminden kullanımına kadar tüm süreçte verimliliğin sağlanması, israfın önlenmesi ve enerji yoğunluğunun azaltılması büyük bir önem taşımaktadır.

Elektriğin üretiminde, iletiminde ve dağıtım süreçlerinde enerji verimliliğinin gözetilmesi (kaçak ve kayıpların azaltılması, alt yapının sürekli yenilenmesi ve daha verimli yapılması, vb.), enerjinin etkili ve yeterli kullanılması, atmosfere salmakta olduğumuz emisyonlarda büyük bir azaltım potansiyeli olduğunu ortaya çıkarmaktadır (Arı, 2022).

Elektrik üretiminde üretim santrallerinde verimliliğe yönelik tedbirlerin alınması, iletim ve dağıtımda kullanılmakta olan kabloların, hatların, trafoların iyileştirilmesi, elektriğe talebi olan bölge ile elektriğin üretildiği bölgenin coğrafi olarak birbirine yakınlaştırılması enerji verimliliğini artırmaktadır.

Ulaşımda kullanılan akaryakıtın üretiminde de benzer şekilde petrol kuyularından elde edilmesinden son tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreçte kayıplar söz konusudur. Üretilen enerjinin maalesef bir miktarı faydalı bir enerjiye; bir miktarı ise kaybedilen enerjiye dönüşmektedir. Burada amaç birincil enerji kaynağını kullanıp üretim ve dağıtım yaparken nihai enerji talebini en fazla ölçüde karşılamaktır.

Binalar sektöründe, binalardaki enerji verimliliğinin artırılması, alan ısıtma ve soğutmadaki enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, elektrikli ev aletlerinde A sınıfı ve üstü



ekipmanların kullanılması, gereksiz aydınlatmanın önlenmesi ve uzun ömürlü verimliliği yüksek lambaların tercih edilmesi, buzdolabının ısı kaynaklarından uzak bir yere konulması, klimanın mevsimine uygun sıcaklık ve fan hızında çalıştırılması gibi olumlu davranışlar enerjinin talep tarafındaki iyileştirilmesine örneklerdir.

Gelişen teknoloji, artan elektrik ve enerji talebiyle birlikte, fosil yakıt kullanımının sona erdirilmesi, yenilebilir enerji kaynaklarının çoğaltılması ve yenilebilir enerji için teşviklerin verilmesi çok önemlidir. Artan enerji ihtiyacı çerçevesinde enerji arz güvenliği ve çeşitliliği düşünülürken, iklim değişikliğinin getirmekte olduğu riskler göz önüne alınarak; enerji verimliliğine yönelik mevcut yasal düzenlemeler güçlendirilmeli; kamu binalarında enerji verimliliği (KABEV) gibi projeler yaygınlaştırılmalı, toplum farkındalığını artıran eğitim ve uygulamalar hızlandırılmalıdır [11].

15. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KENTLER

Yeniliklerin, nüfusun ve medeniyetin merkezi olan kentlerin çevre üzerine oldukça önemli etkileri vardır. Kentler özellikle iklim değişikliğine neden olan insan faaliyetlerine kaynaklık etmektedir. Bugün yaklaşık 3.9 milyar insanın yaşadığı kentlerin toplam yüzölçümü yeryüzünün sadece % 2'sini kaplamaktadır. Buna karşın kentler, barındırdıkları nüfus, üretim ve tüketim faaliyetleriyle sosyal ve ekonomik hayatın merkezi konumundadır. **Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi**'nin tahminlerine göre 2050'ye kadar 2.5 milyar kişinin daha kent nüfusuna eklenmesi ve dünya nüfusunun %70'inin kentlerde yaşaması öngörülmektedir.

Günümüzde dünya enerji tüketiminin % 60 ila % 80'i kentlerde gerçekleştirilmektedir. İklim değişikliğinin başlıca sorumlusu olarak değerlendirilen karbondioksit salımlarının % 75'i kentlerde gerçekleştirilen etkinliklerden kaynaklanmaktadır. Dünyanın en büyük 40 kenti, gezegenin fosil yakıt kaynaklı CO2 salımlarının üçte birinden sorumludur. İklim değişikliğinden kaynaklanan fırtınalara, sellere, kuraklıklara, orman yangınlarına, gıda, su ve sanitasyon sorunlarına, ekonomik ve siyasi istikrarsızlıklara maruz kalan kentlerde, çatışmalar ve gerilimler de meydana gelebilmektedir. Bazı şehirler iklim değişikliğinin sonuçlarından ve doğal afetlerden nüfus yoğunluğu nedeniyle daha fazla etkilenmektedir. Afetler karşısında can ve mal kayıplarının önlenebilmesi için şehirlerin daha güçlü planlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kentler iklim değişikliğiyle mücadelede büyük bir önem taşımaktadır.

6.5 milyar insanı barındırmak zorunda kalacak olan ve günümüz şartlarında bile yoksulluk, işsizlik, alt yapı hizmetlerine erişim, salgın hastalıklar, iklim değişikliğine bağlı doğal afetler ve göç sorunları yaşayan kentler bu büyük sorunlar ile daha da yaşanması zor yerler haline gelmektedir. Bu nedenle "Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları"nın 11.'si olan "Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar Amacı", şehirlerin ve insan yerleşimlerinin kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılınmasını işaret etmektedir.

IPCC yaşamakta olduğumuz iklim değişikliğinin nedeninin insan faaliyetleri olduğunu, bu faaliyetlerin özellikle kentlerde yoğunlaştığını belirtmekte; iklim değişikliğinin ön saflarında yer alan kentlerin önümüzdeki on yıllarda afetsel sonuçlarla karşılaşabilecekleri uyarısında bulunmaktadır (IPCC, 2022a, 2022b). Bu kapsamda, Birleşmiş Milletler şehir yöneticilerini uzun zamandır sürdürülebilir kentsel gelişme ve iklim dirençli (iklim değişikliğinin etkilerine karşı dirençli) altyapıyı teşvik etmeye ve sıfır salımı sürdürmeye çağırmaktadır (Türkeş, 2022).

Kentlerdeki sera gazı salımları ağırlıklı olarak sanayi, ticaret, inşaat, ulaşım, binaların inşası ve kullanımı gibi kent içi faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Kentlerde binalar sektörü küresel enerji tüketiminin yüzde 30'undan ve enerji kullanımından kaynaklanan karbon salım üretiminin yüzde 28'inden sorumludur [12]. Ayrıca dünyadaki tüketimin büyük çoğunluğu kentlerde gerçekleşmektedir. Kentler kendi sınırlarında üretilmese de başka noktalarda fosil yakıta bağlı enerji ile üretilen ürünlerin kentlerde tüketimi yoluyla dolaylı olarak da sera gazı salımına neden olmaktadır (Uncu, 2019).



Kentler bir yandan, insanların etkinlikleri ile iklim değişikliğine neden olurken; iklim değişikliği sonucunda ortaya çıkan olumsuz sonuçlardan da en çok etkilenen yaşam birimleri olmaktadır. Bir diğer yandan kentler medeniyetin, yatırımların ve yeniliklerin merkezi olarak, iklim değişikliğine bağlı sorunların çözümünde anahtardır. Zira kentler iklim değişikliğiyle mücadele için gerekli olan karbon emisyonlarının azaltılmasında ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum eylemlerinin gerçekleştirilmesinde önemli bir aktördür. Dünya genelinde kentlerin %70'i iklim değişikliğinin doğrudan etkilerini farklı şekillerde yaşamaktadır. Sıcak hava dalgaları, aşırı hava ve iklim olayları, deniz seviyesinin yükselmesi, yağışların düzensizleşmesi, kontrol edilemeyen yangınlar ve su kıtlığı, kentlerin ve kentli nüfusun karşı karşıya olduğu iklim değişikliğine bağlı başlıca riskler arasında değerlendirilmektedir (Aşıcı, 2017).

Genel sıcaklık ortalamalarında artışa neden olan iklim değişikliği, kentsel ısı adası etkisiyle oluşan aşırı sıcak ve nem nedeniyle kentli nüfusu tehdit etmektedir. Dünya nüfusunun % 30'u yılın en az 20 günü insan sağlığını tehdit eden seviyelerdeki hava sıcaklıklarına maruz kalmakta; bu oranın 2100 yılında %74'e çıkması beklenmektedir (Uncu, 2019). Sıcaklıklardaki artış, su ve vektör kaynaklı hastalıkların kolayca yayılması açısından uygun ortamı meydana getirmektedir. Bu çerçevede iklim değişikliğinin kentlerde neden olduğu bir diğer sorun ise kuraklık ve su kıtlığıdır [13]. Birleşmiş Milletler 2050 itibariyle dünya çapında ülkelerin yarısının kuraklık yaşayacağını ve kentlerde nüfus artışı ve hızlı kentleşmeyle birlikte su stresi veya su sıkıntısı yaşanacağını öngörmektedir. Kar ve buzullardaki hızlı eriyiş, kurak mevsimlerin süresinin uzaması ve artan sıcaklıklar sonucunda buharlaşma oranları yükselmekte, kentlerin kullanılabilir su kaynakları tükenmekte ve artan hava sıcaklıkları su tüketimini artırmaktadır. Bu durum, hızla yükselen kentli nüfus ve kirlenme nedeniyle zaten baskı altında olan yeraltı ve yerüstü su varlığının azalmasına ve su kıtlığı yaşanmasına yol açmaktadır.

İklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı hava olayları ve afetler kentlerde önemli kayıp ve hasarlara neden olmaktadır. İklim ile ilişkili aşırı hava olayları arasında şiddetli ya da aşırı yağışlarla yetersiz alt yapının birleşimiyle oluşan kentsel seller, kentlerde en yaygın olarak görülen ve en fazla can kaybına neden olan afet türüdür. 2019 yılında sel ve taşkınlar, küresel çapta yaklaşık 46 milyar ABD doları tutarında ekonomik kayba ve 4500 kişinin ölümüne neden olmuştur (Tuğaç, 2022). 11 Ağustos 2021'de Batı Karadeniz'de gerçekleşen aşırı yağışlar sonucu Kastamonu, Sinop ve Bartın illerinde meydana gelen sellerde 82 kişi hayatını kaybetmiş; Kastamonu'nun Bozkurt ilçesinde yaşanan iklim değişikliğini dikkate almayan çarpık yapılaşmanın sonucu bölgesel bir felaket meydana gelmiştir.

Fırtına, tropikal siklon, fırtına kabarması (şiddetli rüzgâr ve fırtınalarla bağlantılı yüksek dalgaların ve yükselen deniz seviyesinin yol açtığı kıyısal su baskınları) gibi hava ve iklim olayları dünya üzerinde kıyılarda bulunan birçok kenti ve çevresini tehdit etmektedir. Dünyanın çeşitli kentlerinde meydana gelen afetler, başta ulaşım olmak üzere altyapılarda ciddi hasarlar yaratmaktadır. İklim değişikliğiyle beraber değişen sıcaklık ve yağış deseni ve buzulların erimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi etkiler nedeniyle özellikle kıyı bölgelerinde bulunan kentler önemli risk altındadır. (Uncu, 2019).

İklim değişikliğinin neden olduğu bir diğer tehdit aniden başlayan ve hızla yayılarak kontrolden çıkan yangınlardır. Yangınlar, kent ve kent civarında yaşam alanlarını tehlikeye sokmaktadır. 2021'de Türkiye'de bir yanda kuraklık devam ederken yaz aylarında gelen sıcak dalgasıyla 28 Temmuz ile 12 Ağustos tarihleri arasında Akdeniz, Ege, Marmara, Batı Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunan 49 ilde 300 civarında orman yangını gerçekleşmiştir. Bu orman yangınlarda 8 insan hayatını kaybetmiş; yaklaşık 178 bin hektar orman yok olmuş ve sayısız canlı ölmüştür [14].



Kentlerde iklim değişikliğinin yarattığı risk ve tehlikelerden korunmak, iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak ve afet risklerini azaltmak için **Yerel İklim Değişikliği Eylem Planları**'nın hazırlanması ve uygulanması önemlidir (Talu, 2019). Kentlerde iklim değişikliği ile mücadele ve emisyon azaltımı kapsamında, doğa temelli çözümler ve yeşil altyapılar (kentlerdeki farklı tipteki yeşil alanlar, ormanlar, sulak alanlar, bataklıkları vb.) gibi stratejiler etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kentlerde sel, taşkın ve kuraklık gibi afetlerin önlenmesinde su yönetimi önemlidir. Yağmur suyunun yönetimi, taşkın parkları, bitkilendirilmiş yağmur suyu hendekleri, geçirgen yer kaplamaları, yeşil kaldırımlar, yeşil çatılar, yeniden doğal haline kavuşturulan su kanalları, yağmur bahçeleri ve kent ormanları gibi yeşil altyapı uygulamaları ile kentlerin iklim afetlerine dirençlilikleri artırılmaktadır. Kentlerde iklim değişikliğiyle mücadele bağlamında bir diğer strateji olan yeşil enerji dönüşümün gerçekleştirilmesi, çevrenin yanı sıra ekonomik ve sosyal açıdan da önemlidir. Kentlerde enerji etkin binaların yapımı, yenilenebilir enerjinin ve elektrikli araçların kullanımı ile 2030 yılına kadar 24 milyon yeni iş imkânının oluşması beklenmektedir. Kentlerde, kaynakların etkin ve verimli kullanımı, döngüsel ekonomi ve atık yönetimi kapsamında, sıfır atık uygulamalarının yaygınlaştırılması önemlidir. İklim dirençli kentleşme için yeşil ulaşım bir diğer önemli strateji başlığıdır. Gürültü, hava kirliliği ve sağlık sorunlarıyla mücadelede yaya, bisikletli ulaşım ve mikromobilite seçenekleri; toplu taşıma araçları ile yerel servis ve iş imkânlarına erişimin sağlanması önemlidir (Tuğaç, 2022).

Kentlerde iklim değişikliği ile mücadele için toplumun, karbon ayak izinin azaltılması konusunda bilinçlendirilmesi ve iklim değişikliğine bağlı afet risklerine karşı hazırlanması gerekmektedir. İklim değişikliği, biyoçeşitlik vb. konularda üniversiteler, araştırma ve sivil toplum kuruluşları tarafından geliştirilen eğitim içerikleri kamu kurumları ile işbirliğinde yaygınlaştırılmalıdır. **Uygarlık sınavı** olarak adlandırılan iklim değişikliğine karşı etkin mücadele için eğitimlere önem verilmelidir.

16. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE YEŞİL ÇATILAR

Yeşil Çatı Nedir?

Son yıllarda, şehirleri daha sürdürülebilir ve iklim değişikliğine karşı daha direngen hale getirmek için küresel bir hareket ortaya çıktı. Şehirler daha fazla park ve yeşil alan oluşturuyor, araçlara ve diğer kirlilik biçimlerine sınırlar koyuyor ve binalar için enerji verimliliği önlemleri alıyor. Bu kapsamda, ötekilerin yanı sıra, kentlerde geniş alanları kaplayan bina (bireysel konutlar, apartmanlar, gökdelenler, AVM'ler, kamu ve yerel yönetim binaları, organize sanayiler, vb.) çatılarından, hatta duvarlarından (Şekil 14 ve Şekil 15) yararlanmaya yönelik yaklaşımlarla ve sonuçlarıyla daha sık karşılaşıyoruz.



Şekil 14. İnşa edilmiş yüzeylerde yaratılmış başarılı-etkileyici kentsel ekosistem örnekleri (Harada ve Whitlow, 2020). (A) New York: New York'taki Javits Merkezi'nde sıcağa ve kuraklığa dayanıklı sedum türleri (dam koruğu olarak da adlandırılan, kayalık ortamlardan duvarlara kadar çeşitli yetişme koşullarına uyum gösteren çok yıllık bir sukulent bitki türü) yetiştiren 2.7 hektarlık yeşil bir çatı. (B) Klyde Warren Park: Dallas, Teksas'taki Woodall Rodgers Otoyolu üzerindeki kapak yapısı üzerinde büyüyen ağaçlar, çalılar, çimenler ve süs bitkileri olan 2.1 hektarlık bir halka açık park. (C) Brooklyn Grange: New York'taki eski Brooklyn Navy Yard'da (bir donanma tesisi) 11 katlı bir binanın tepesinde sebze yetiştiren 0.6 hektarlık bir çatı çiftliği (Harada ve Whitlow, 2020)

Yeşil Çatıların Başlıca Çevresel İşlev ve Yararları

1. Kentin Havasını Soğuturlar: Şehirler, onları çevreleyen kırsal alanlardan daha sıcaktır. Asfalt yollar ve beton binalar Güneş ışığını emdikten sonra ısı enerjisi yayar; araç egzozları ve klimalar ek ısı üretir. Buna "***kentsel ısı adası etkisi***" denir ve bu etki şehir merkezlerini komşu kırsal ya da yarı kırsal alanlardan birkaç derece daha sıcak yapabilir.



Şekil 15. Güzel bir yeşil duvar tasarım örneği. 22 Şubat 2012, Madrid (Fotoğraf: M. Türkeş).



İklim değişikliği şiddetlendikçe daha yaygın hale gelen sıcak hava dalgaları sırasında, kentsel ısı adası etkisi ölümcül sonuçlara yol açabilir. Oysaki yeşil çatılar bu afetsel etkiyi azaltabilir; şehirleri iklime daha dayanıklı – direngen hale getirebilir ve sıcak dalgaları riski en yüksek olan insanları koruyabilir. Bunu, koyu renkli yüzeyleri Güneş ışığını emmek yerine yansıtan parlak bitki örtüsü ile değiştirerek yaparlar. Bitkiler ayrıca, atmosfere nem saldıklarında, şehirleri görece soğutan evapotranspirasyon (buharlaşma-terleme) adı verilen bir süreçten geçerler.

2. Enerji ve Sağlık Bakım Maliyetlerini Azaltırlar: Yeşil çatıların serinletici etkileri enerji maliyetini azaltabilir. Yaz aylarında yeşil çatılar tüm binaları serinletir, bu da soğutma (klima) gereksinimini azaltır. Yeşil çatılar yalıtımı iyileştirdiği için, soğuk aylarda binalarda ısı tutulmasını da artırabilir. Sonuç olarak, yeşil çatılar bir bina için enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. Binalar ayrıca bir şehrin sera gazı salımlarının çoğunluğundan sorumludur. Şehirler binalarda enerji kullanımını azaltarak, atmosfere daha az karbondioksit, metan gibi sera gazlarını ve diğer kirleticileri salarak karbon ayak izini azaltabilir.

3. Kentsel Selleri Önlerler: Kuvvetli yağışlar, özellikle şiddetli sağanak ve gök gürültülü sağanak yağış fırtınaları sırasında şehirler sel baskınını önlemek için drenaj sistemlerine güvenir; ancak şiddetli yağış fırtınaları ve sağanaklar kanalizasyonları ve boru hatlarını tıkayarak sokakların su altında kalmasına neden olabilir. Bunda şehirlerin doğal jeomorfolojisinin (doğal yeryüzü şekillerinin, akarsu vadi ve kanallarının, sekilerin, kıyı kumullarının, plajların, vb.) ve doğal hidrografik özelliklerin (doğal drenajın, akarsu ağının ve su yapılarının, göllerin, sulak alanların, vb.) zaman içinde bozulmuş hatta tümüyle değiştirilmiş olmasının da önemli katkısı vardır.

4. Suyu Süzerler: Kirlilik, drenaj sistemleriyle ilgili başka bir sorundur. Bir şehre yağmur yağdığında, su kirletici maddelerle dolar. Bu kirleticiler daha sonra yeraltı boru ağlarıyla nehirlere ve göllere taşınır; bu da yeraltı ve yerüstü içme suyu kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir. Yeşil çatılardaki bitkilerse, yağmur suyunu filtreleyerek zararlı toksinleri uzaklaştırır ve içme suyunun kirlenme riskini azaltır.

5. Gıda Güvenliğini Geliştirirler: Görece yeni bir alan olmasına karşın, çatı çiftçiliği giderek daha popüler hâle geliyor (Şekil 1C). Çatı çiftliklerini uygulamak, standart az bakım gerektiren yeşil çatılardan daha zordur, ancak birçok yararı vardır. Çatı çiftlikleri, sürekli bir ürün arzı sağlayarak bir şehrin gıda güvenliğini destekleyebilir. Ayrıca topluluk üyelerinin diyetlerini çeşitlendirerek yiyecek yetersizliğinde ve -bugünlerde olduğu gibi- yüksek gıda fiyatlarında insanların beslenme düzeylerini iyileştirebilirler ve gıda güvencelerini sağlayabilir. Son olarak, çatı çiftlikleri, gıda üretim sisteminde büyük sera gazı salımları oluşturan iki adım olan bölgeler ve ülkeler arasında ya da uluslararası olarak taşınmaları ve soğutulmaları gerekmediğinden tükettiğimiz gıdaların karbon ayak izini azaltır.

6. Sosyal Uyum ve Savunuculuğu Sağlarlar: Yeşil çatılar, başka türlü bitki örtüsüne erişimi olmayan şehir sakinleri için hoş bir rahatlama sağlar. Yeşilliklere yakın olmanın stresi azaltmaktan hafızayı ve sağlığı geliştirmeye kadar sayısız psikolojik ve fizyolojik yararı vardır. Yeşil çatılar aynı zamanda insanları çatılarında sosyalleşmeye teşvik etmektedir. İlk olarak, komşuların birbirini tanımasını sağlar; ikinci olarak, aşırı hava olayları sırasında insanların dayanışma içinde olmalarını ve birbirlerine yardım etmelerini kolaylaştırabilir.

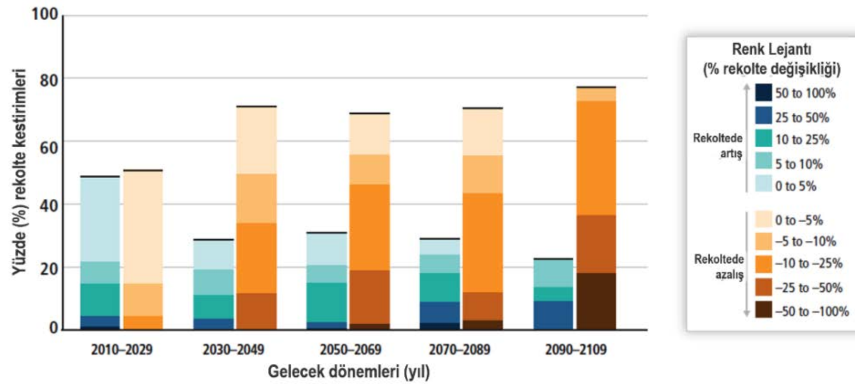
17. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIMA ETKİSİ

Öngörülen İklim Değişikliğinin Etkileri

İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliği üzerindeki etkilerine ilişkin görece geniş bir tartışmaya (Örneğin, Porter *ve ark.*, 2014; IPCC, 2014, IPCC, 2018; Türkeş, 2020; Türkeş, 2017b, 2017c; Türkeş *ve ark.*, 2018, vb.) dayanarak asıl olarak Türkeş (2020c)'e göre aşağıda sunulmuştur:

İklim değişikliğinin tarımsal ürün ve karasal gıda üretimi üzerindeki olumsuz etkileri olumlu etkilerinden daha açık ve yaygındır. Pozitif etkiler bazı yüksek enlem bölgelerinde belirgindir. Aşırı iklim olayları sonrasında anahtar üretim bölgelerindeki hızlı gıda ve tahıl fiyatı artışlarının gerçekleştiği dönemler belirgindir ve bugünkü pazarların diğer etmenlerin yanı sıra iklim ekstremlerine karşı da duyarlı olduğunu göstermektedir. Aşırı iklim olaylarının bazıları, insan kaynaklı küresel iklim değişikliğinin ve onun en önemli göstergesi olan küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. İklimsel eğilimler hem tatlı su hem de deniz ortamlarında hasat edilen su türlerinin bolluk ve dağılış desenleri ile Dünya'nın farklı bölgelerindeki su kültürü üretim sistemlerini etkilemektedir. Tüm bu etkilerin özellikle bazı gelişmekte olan tropikal ülkelerdeki etkilenebilir toplumlar açısından besin ve gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerinin süreceği beklenmektedir. Bazı bölgelerdeyse, sucul gıda üretimine daha uygun koşullar ortaya çıkabilecektir. Bazı çalışmalar, günlük en yüksek hava sıcaklıkları ya da günlük yüksek sıcaklık ekstremleri 30 °C ve üstüne çıktığında ürün rekoltelerinin ciddi bir negatif etkilenebilirliği olduğunu belgelemiştir. Bu düzeydeki etkilenebilirlik durumları birçok ürün ve bölge için tanımlanmakta ve bu durumun büyüme mevsimi boyunca etkili olması beklenmektedir. Ayrıca pek çok çalışmada sıcaklık eğilimlerinin iklim değişikliğinin alt kıtasaldan küresel ölçeklere kadar geniş bir coğrafi dağılışta ürün rekolteleri üzerindeki geçmiş ve gelecek etkilerinin saptanması açından da önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Tropikal ve ılıman iklim bölgelerindeki buğday, pirinç ve darı gibi ana ürünler açısından, yerel hava sıcaklığı 21. yüzyılın son dönemlerine göre 2 °C ve daha fazla arttığında uyum olmaksızın iklim değişikliği üretimi negatif olarak etkileyecektir. Öngörülen etkiler ürün ve bölgeler ile uyum senaryolarına göre değişir. Örneğin 20. yüzyılın son dönemiyle karşılaştırıldığında, 2030-2049 dönemi için gerçekleştirilen kestirimlerin yaklaşık % 10'u ürün rekoltelerinde % 10'dan daha fazla artış gösterirken, kestirimlerin yaklaşık % 10'u % 25'ten daha fazla rekolte kaybının olacağını göstermektedir (Şekil 16).



Şekil 16. İklim değişikliği nedeniyle 21. yüzyıl süresince ürün rekoltelerinde öngörülen değişikliklerin özet gösterimi (Türkeş, 2020c: bazı değişikliklerle birlikte Porter *ve ark.* (2014) ve IPCC'ye (2014) göre yeniden düzenlenmiştir.)

2000'li yıllardan beri gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan elde edilen bulgulara göre iklimdeki ve CO_2 birikimlerindeki değişiklikler, tarımsal üretim açısından önemli ve istilacı türlerin dağılışını etkileyecek ve rekabet artışına yol açacaktır. Atmosferdeki artan CO_2 birikimi, ki **CO_2 gübrelemesinden** (atmosferdeki birikimi Sanayi Devrimi'nden beri hızla artmakta olan fazla CO2'nin neden olduğu fotosentez oranındaki artış) sorumludur, bazı herbisitlerin (yabani ya da yabancı ot ilaçları, kimyasalları) etkisinde azalmaya neden olabilecektir. İklim değişikliğinin hastalıkların gıda üretimi üzerindeki baskısına ilişkin etkileri belirsizliğini korumaktadır. Zararlı hastalıkların coğrafi dağılış desen ve aralıklarındaki değişiklikler belirgin olmasına karşın, hastalık şiddetindeki değişiklikler daha az belirgindir.



İklim Değişikliği Koşullarında C3 ve C4 Bitkilerinin CO_2 Gübrelemesine Farklı Yanıtları

Farklı bitki türleri, atmosferik CO_2'nin organik karbona dönüştürüldüğü fotosentez sırasında oluşan biyokimyasal süreç olan farklı karbon asimilasyon (özümleme) düzeneklerine sahiptir. Günümüzde tüm karasal bitkilerin yaklaşık % 95'ini içeren çoğu fotosentetik (fototrof) organizma, **Calvin Döngüsü** adı verilen biyokimyasal bir yolla karbonu sabitler. Calvin Döngüsü, organizmaların - özellikle bitkiler ve alglerin - havadaki CO_2'den enerji ve yiyecek oluşturduğu süreçtir. Genellikle fotosentezin bir parçasıdır ve ototroflar (örneğin yeşil bitkiler) için ana besin kaynağıdır. Calvin döngüsünün ilk adımı, üç karbon atomu içeren kararlı bir ara bileşik (3-fosfogliserik asit) üretimini içerir. Bu nedenle, bu işleme **C3 fotosentezi** ve bu şekilde metabolize olan **buğday, pirinç, pamuk, soya fasulyesi, şeker pancarı ve patatesler** vb. bitkilere **C3 bitkileri** denir. Bununla birlikte, **mısır, şeker kamışı ve birçok tropikal çayırı** içermek üzere bazı bitkiler, **dört karbonlu bir bileşik** üreterek fotosentetik işleme başlar. Aslında, **mısır ve şeker kamışı**, genellikle böyle düşünmememize karşın, birer ot türüdür. Bu tip bitkilere **C4 bitkileri** denir. **C4 bitkileri** CO_2 artışlarına **C3 bitkileri**ne göre daha az tepki verir. Bu nedenle, **CO_2 gübrelemesi**nin (atmosferdeki birikimi Sanayi Devrimi'nden beri hızla artmakta olan fazla CO_2'nin neden olduğu fotosentez oranındaki artış) **C3 bitkileri**nin büyüme hızı üzerinde önemli bir etkisi olabilirken, **C4 bitkileri** üzerinde büyük bir etkisinin olması beklenmemektedir. Mısır gibi belirli tarımsal ürünler, yüksek CO_2'li bir dünyada **C3** kökenli yabani otlara kıyasla dezavantajlı olabilir. **C3** dünyası içinde bile farklı bitki türlerinin, CO_2 artışlarına eşlik edebilecek sıcaklık ve nem varlığındaki (örneğin yağış rejimi, toprak nem içeriği) değişikliklere farklı tepkiler göstermesi beklenmektedir.

Yaklaşık son 15 yıllık dönemde atmosferdeki CO_2 birikimindeki değişikliklerin etkilerinin bitki tiplerine göre (burada C3 ve C4 bitkileri) ele alındığı çalışmalar yayımlanmaya başlamıştır. Bu durum bu alandaki önemli bir ilerlemedir (DaMatta *ve ark.*, 2010). Atmosferdeki birikimi sürekli artmakta olan artan CO_2 etkisi (CO_2 gübrelemesi), C4 ürünlerindeki fotosentez oranları artan CO_2 birikimlerindeki artışlara daha zayıf karşılık verdiği için, **C3 bitkilerinde** (buğday, pirinç, pamuk, soya fasulyesi, şeker pancarı ve patatesler, vb.) **C4 bitkilerinden** (darı, sorgum, şeker kamışı, vb.) daha yüksek olma eğilimindedir (Leakey, 2009). En yüksek gübreleme yanıtları yumrulu ürünlerde gözlenir. Bunlar yer altındaki organlarında fazla karbonhidrat depolama açısından önemli kapasiteye sahiptir (Fleisher *ve ark.*, 2008; Högy and Fangmeier, 2009). Çeşitli ürünlerin CO_2'ye verdiği yanıtlar aynı zamanda genotipe özgü bir durumdur (Ziska *ve ark.*, 2012). Örneğin 200 ppmv düzeyindeki ek CO_2 koşullarındaki rekolte artışı, pirinç üretiminde % 3 ile % 36 arasında değişmektedir (Hasegawa *ve ark.*, 2013).

18. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Sürdürülebilir kalkınma, insan ile doğa arasında denge kurarak doğal kaynakları tüketmeden, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına imkân verecek şekilde bugünün ve geleceğin yaşamını ve kalkınmasını programlama anlamını taşımaktadır. Sürdürülebilirliğin bir kavram olarak tarım, ormanlar ve balıkçılık gibi yenilenebilir kaynaklar konusunda ortaya çıktığı görülmektedir (Bozloğan, 2010). Sürdürülebilir kalkınma çevresel, toplumsal ve ekonomik boyutları olan bir kavramdır.

Yirminci yüzyılın ortasına kadar kaynakların paylaşımı için iki dünya savaşı yaşayan insanlık, bir yandan DDT (Dikloro Difenil Trikloroetan) gibi tarım ilaçlarının kullanımı ile çevreye ve insan sağlığına; diğer yandan nükleer silahların kullanımı ile yeryüzünün tamamına zarar verebileceğini 1960'lı yıllarda anlamıştır. Çevre sorunlarına konusunda iş birliğine yönelik ilk kapsamlı düzenlemeler 1970'li yıllarda uluslararası boyuta ulaşmaya başlamıştır. 1972 yılında Stockholm'de gerçekleştirilen **BM İnsan Çevresi Konferansı**'nda sosyo ekonomik yapıları ve gelişme düzeyleri farklı olan birçok ülke "çevre" konusunda ilk defa bir araya gelmiş



ve **BM İnsan Çevresi Bildirisi** kabul edilmiştir. Yine aynı yıl yayımlanan **Büyümenin Sınırları Raporu**, ekonomik ve teknolojik büyümenin aynı şekilde devamı halinde 100 yıl sonra (2072'de) dünya kaynaklarının yetmeyebileceğini belirterek; sistemsel bir çöküş yaşanabileceği uyarısında bulunmuştur. 1983'de Birleşmiş Milletler (BM) tarafından Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu kurulmuştur.

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez, 1987 yılında **Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu**'nca hazırlanan **Brundtland (Ortak Geleceğimiz) Raporu**'nda *"Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma"* olarak tanımlanmıştır (Yücel 2016). 1992 Rio Konferansı'nda 178'den fazla ülke, insan yaşamını iyileştirmek, çevreyi korumak ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak üzere küresel bir ortaklık kurmak için kapsamlı bir eylem planı olan **Gündem 21**'i kabul etmiştir. Gündem 21'de sürdürülebilir kalkınma için üretim ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi gerektiğine vurgu yapılmaktadır (GAİB, 2022). 2000 yılında toplanan **Bin Yıl Zirvesi'**nde ilan edilen **BM Binyıl Kalkınma Hedefleri**'nin temel amacı aşırı yoksulluğu ve açlığı ortadan kaldırmak olmuştur. Ayrıca cinsiyet eşitliğinin sağlanması, kadınların güçlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve kalkınma için ortak hareket etme gibi hedefler belirlenmiş, bu hedeflerin 2015 yılına kadar gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. Ancak kabul edilen 8 kalkınma hedefi, kapsadığı ülkeler ve ele aldığı temalar bakımından yetersiz bulununca, 2012 yılında tekrar tartışmaya açılmıştır. 2012 yılında gerçekleştirilen, **Rio + 20 Zirvesi** olarak da anılan **Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi**'nde, küresel ölçekte sürdürülebilir yaşama engel oluşturan sorunlar, ülkelerin kendi ulusal koşulları çerçevesinde ele alınmış ve görüşmeler 2015 yılına kadar sürmüştür. Eylül 2015'te Dünya hükümetleri, 2030 yılına kadar yoksulluğun sona erdirilmesinden, cinsiyet eşitliğine, iklim değişikliğinden, eşitsizliklerin azaltılmasına ve finansal açıkların kapatılmasına kadar Dünya'nın 17 başlık altında toplanan büyük sorunlarını çözmek ve ülkelerin sürdürülebilir gelişmesine katkıda bulunmak üzere anlaşmaya varmıştır. **Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları** (BM SKA) olarak belirlenen 17 Amaç, 169 hedef ve 247 gösterge, gezegenin ve tüm canlıların sağlıklı bir şekilde varlıklarını sürdürebilecekleri bir sistemin oluşturulması temeline dayanmaktadır. SKAlar (Şekil 17a), yoksulluğu ortadan kaldırmak, gezegenimizi korumak, tüm insanların barış ve refah içerisinde yaşamasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısıdır [17]:

1. Amaç – "Yoksulluğa Son": Yoksulluğun tüm biçimlerini her yerde sona erdirmek.

2. Amaç – "Açlığa Son": Açlığı bitirmek, gıda güvenliğine ve iyi beslenmeye ulaşmak ve sürdürülebilir tarımı desteklemek.

3. Amaç – "Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam": Sağlıklı ve kaliteli yaşamı her yaşta güvence altına almak.

4. Amaç – "Nitelikli Eğitim": Kapsayıcı ve hakkaniyete dayanan nitelikli eğitimi sağlamak ve herkes için yaşam boyu öğrenim fırsatlarını teşvik etmek.

5. Amaç – "Toplumsal Cinsiyet Eşitliği": Toplumsal cinsiyet eşitliğini sağlamak ve tüm kadınlar ile kız çocuklarını güçlendirmek.

6. Amaç – "Temiz Su ve Sanitasyon": Herkes için erişilebilir su ve atık su hizmetlerini ve sürdürülebilir su yönetimini güvence altına almak

7. Amaç – "Erişilebilir ve Temiz Enerji": Herkes için karşılanabilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi sağlamak.

8. Amaç – "İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme": İstikrarlı, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve herkes için insana yakışır işleri desteklemek



9. Amaç – “Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı”: Dayanıklı altyapılar tesis etmek, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi desteklemek ve yenilikçiliği güçlendirmek.

10. Amaç – “Eşitsizliklerin Azaltılması”: Ülkeler içinde ve arasında eşitsizlikleri azaltmak.

11. Amaç-“Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar”: Şehirleri ve insan yerleşimlerini kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılmak

12. Amaç – “Sorumlu Üretim ve Tüketim”: Sürdürülebilir üretim ve tüketim kalıplarını sağlamak.

13. Amaç – “İklim Eylemi”: İklim değişikliği ve etkileri ile mücadele için acilen eyleme geçmek.

14. Amaç – “Sudaki Yaşam”: Sürdürülebilir kalkınma için okyanusları, denizleri ve deniz kaynaklarını korumakve sürdürülebilir kullanmak.

15. Amaç – “Karasal Yaşam”: Karasal ekosistemleri korumak, iyileştirmek ve sürdürülebilir kullanımını desteklemek; sürdürülebilir orman yönetimini sağlamak; çölleşme ile mücadele etmek; arazi bozunumunu durdurmak ve tersine çevirmek; biyolojik çeşitlilik kaybını engellemek

16. Amaç – “Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar”: Sürdürülebilir kalkınma için barışçıl ve kapsayıcı toplumlar tesis etmek, herkes için adalete erişimi sağlamak ve her düzeyde etkili, hesap verebilir ve kapsayıcı kurumlar oluşturmak.

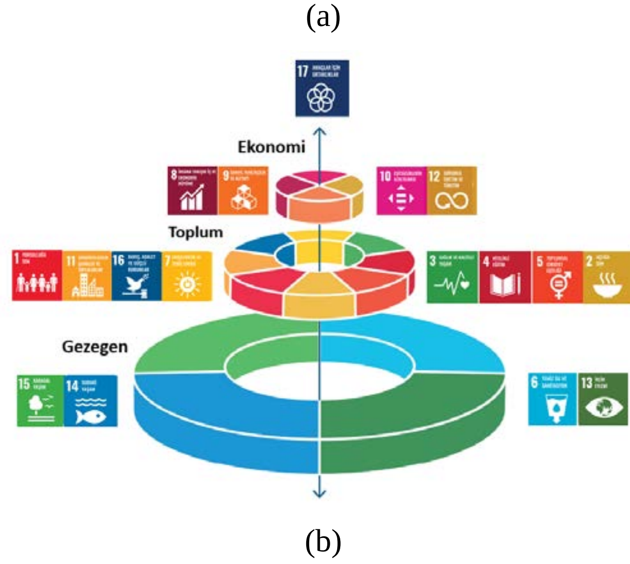
17. Amaç – “Amaçlar İçin Ortaklıklar”: Uygulama araçlarını güçlendirmek ve sürdürülebilir kalkınma için küresel ortaklığı canlandırmak.

17 SKA ayrı amaçlar olarak kurgulanmış olsalar da birbirinden bağımsız olmayıp; herhangi bir Amaç için yürütülen politikalar veya eylemler diğer Amaçları da etkilemektedir.





(a)



(b)



(c)

Şekil 16. (a) Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (UN 2015) (b) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın Ekonomik, Sosyal ve Çevresel Boyutu (Obrecht vd. 2021; Azote Images (Jerker Lokrantz) for Stockholm Resilience Centre) (c) Sürdürülebilir Kalkınma için Eğitim 2030 (Education for Sustainable Development for 2030-ESD) (UNESCO, 2017; UNESCO 2020)

Sürdürülebilir kalkınma, sosyoekonomik gelişmeyi sağlarken insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle sürdürülebilirliğin çevre, toplum ve ekonomi boyutu, birbiriyle iç içe geçen bir yapıya sahip olup (Şekil 17b); sürdürülebilir kalkınma için her boyutta iyileşme ve gelişme olması gereklidir [18]. Sürdürülebilirliğin **ekonomik boyutu 8, 9, 10 ve 12 numaralı Amaçları** kapsar ve ekonomik büyüme, verimlilik, üretim süreçleri ve yatırım gibi konular ile ilgilidir. Üretimde kullanılan kaynakların tükenme olasılığı, ekonomik süreç ve etkinliklerin neden olduğu atıklar, ekonomik kalkınmanın sürekliliğini tehlikeye atacak tüm çevresel riskler ve iklim değişikliğinin getirmekte olduğu sorunlar sürdürülebilirliğin ekonomi boyutunda değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirliğin **sosyal boyutu**; **1, 2, 3, 4, 5, 7, 11 ve 16 numaralı Amaçları** kapsar ve toplumsal değerlerin, ilişkilerin ve kurumların geleceğe yönelik devamlılığı ile ilgilidir. Fırsat eşitliği, yaşam kalitesinde iyileşme, hak ve özgürlüklerin ve temel bireysel gereksinimlerin sağlanması sürdürülebilirliğin sosyal boyutunda değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirliğin **çevresel boyutu, 6, 13, 14 ve 15 numaralı Amaçları** kapsar ve doğal kaynakların, biyoçeşitliliğin korunması ve doğal yaşamın sürmesi ile ilgilidir. Üretim ve tüketim sonucu



oluşan atık ve kirliliğinin önlenmemesi, önleyici tedbirlerin alınmaması sürdürülebilir bir yaşamı tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle Amaçlar, doğal kaynakların ekosistemlere zarar vermeden kullanılması işaret edilmektedir.

Toplumların 21. yüzyılın getirmekte olduğu iklim krizi, kuraklık, kıtlık, afetler ve iklim göçleri gibi ekolojik, politik, toplumsal ve teknolojik gelişmelere hazırlanması ve dirençliliklerinin artırılması gerekmektedir. Neredeyse tüm amaçların önünde büyük bir engel olan **13 no.lu İklim Eylemi Amacı**, iklimle ilgili tehlikelere ve doğal afetlere karşı dayanıklılığın ve uyum kapasitesinin bütün ülkelerde güçlendirilmesini; iklim değişikliğiyle ilgili önlemlerin ulusal politikalara, stratejilere ve planlara entegre edilmesini işaret etmektedir. Zira yoksullar gibi kırılgan kesimler üzerinde orantısız bir etkiye sahip olan iklim değişikliği, ülke ekonomilerine büyük zarar vermektedir. Bu nedenle iklim değişikliğine uyum sağlamaya öncelik vermek ülkelerin sürdürülebilir kalkınması için önemli hale gelmiştir. UNDP ve BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryası tarafından 2019'da yayımlanan "The Heat is On" başlıklı rapor, iklim değişikliği ve SKAlar arasında bağlantıya dikkat çekmektedir. Rapor, 13 no.lu İklim Eylemi Amacının (SKA13), yoksulluğun ve açlığın sonlandırılması, eşitsizliklerin azaltılması gibi SKAların gerçekleştirilmesindeki kritik önemi çerçevesinde, ülkelerin, bütçelerini, iklim eylem planlarını ve ulusal katkı beyanlarını SKA13'ü gerçekleştirmek üzere güncellediklerini belirtmektedir (UNDP ve UNFCCC, 2019).

Türkiye'de iklim eylemi Paris Anlaşması'nın onaylanması ve 2053 net sıfır hedefinin belirlenmesi ile önemli bir ivme kazanmıştır. İklim değişikliğine uyum ve emisyon azaltımına yönelik politikaların ve iklim kanunun tasarlanması, Ulusal Katkı Beyanının (NDC) güncellenmesi, 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi için Uzun Vadeli Stratejinin hazırlanması, yeşil organize sanayi ve yeşil endüstri bölgelerinin yaygınlaştırılması, iklim yatırımlarını kolaylaştırmak ve yönlendirmek için Ulusal İklim Stratejisinin, Ulusal Yeşil Taksonominin ve yeşil finansal araçların (yeşil tahviller, yeşil krediler) oluşturulması ve Emisyon Ticaret Sisteminin hazırlanması, Türkiye'nin iklim politikasının önemli konu başlıklarıdır [19].

Dünya, UNESCO liderliğinde toplumları, özellikle yeni kuşağı 21. yüzyılın risklerine karşı hazırlamak ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak üzere eğitim sistemlerini **"Sürdürülebilir Kalkınma için Eğitim (SKE)"** (SKA4, 4.7) bakış açısı ile (Şekil 17c) güncellemektedir (UNESCO, 2017; UNESCO, 2020; Özay, 2022a; Özay, 2022b). Eğitim, SKAların işaret ettiği küresel sorunların yerelden çözümünde, iklim değişikliğinin getirdiği risklere karşı toplumun hazırlanması ve toplumsal direncinin artırılmasında, iklim değişikliği ile mücadelede emisyon azaltımı ve uyum faaliyetlerinin yaygınlaştırılmasında, sanayi başta olmak üzere tüm sektörlerin yeşil dönüşümünde ihtiyaç duyulan yeşil becerilerin kazandırılmasında, ikiz dönüşümün (dijital ve yeşil) sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Toplumların, sürdürülebilir bir yaşamın devamı için ekolojik, ekonomik ve sosyal sorunlara sahip çıkarak, yenilikçi çözümler üretme becerilerini kazanmaları, yaşamakta olduğumuz **sürdürülebilirlik çağının** gereğidir.

19. HAVA, SU, TOPRAK KİRLİLİĞİ VE ÇEVRE KİRLİLİĞİNİN KONTROLÜ

İnsanlar yaşadıkları çevrede çeşitli değişiklikler oluşturmaktadır. Bu değişiklikler olumlu yönde olabileceği gibi olumsuz da olabilir. Bu olumsuzlukların başında çevre kirliliği gelmektedir. İnsan faaliyetleri sonucunda doğanın ve yaşam alanlarının kirlenmesine çevre kirliliği denir. Çevre kirliliğinin birçok çeşidi vardır. En çok bilinen kirlilik çeşitleri; hava kirliliği, su kirliliği ve toprak kirliliğidir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'ndan Açlığa Son (SKA2), Sağlık ve Kaliteli Yaşam (SKA3), Temiz Su ve Sanitasyon (SKA6), Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı (SKA9), Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar (SKA11), Sorumlu Üretim ve Tüketim (SKA12), İklim Eylemi (SKA13), Sudaki Yaşam (SKA14) ve Karasal Yaşam (SKA15) Amaçları hava, su ve toprak kirliliği ile doğrudan ilgilidir. SKA12, ülkeleri sorumlu



bir yaşam için hava, su ve toprak kirliliğini önlemek üzere sorumlu üretim ve tüketim modelleri geliştirmeye çağırmaktadır.

Sanayileşme, kentleşme ve insanların yaşam kalitelerini artırmak için yaptıkları çeşitli etkinlikler, hava, su ve toprak kirliliğinin temel nedenleri arasında olup, doğal yaşama ve canlı çeşitliliğine zarar vermektedir.

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre dünyada her yıl 10 kişiden 9'u hava kirliliğine bağlı olarak hayatını kaybetmektedir. Hava kirliliği ısınma, motorlu taşıt kullanımı, endüstriyel üretim nedeniyle sanayiden kaynaklanmaktadır. Hava, fabrika bacalarından salınan zehirli gazlar, taşıtların egzozlarından havaya yayılan zararlı gazlar, taş ocaklarından çevreye yayılan tozlar ve kalitesiz kömür kullanımı sonucunda bacalardan yayılan zararlı gazlar (hava kirleticileri) nedeniyle kirlenmektedir.

Özellikle fosil yakıtların yanması ya da fosil yakıtların verimli kullanılmaması/yakılmaması neticesinde **hava kirliliği** yüksek konsantrasyonlara (birikimlere) ulaşabilmektedir. Karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (NOx) gibi partikül maddeler hem çevre kirliliğine neden olmakta hem de insan sağlığı üzerinde solunum ve kalp yetmezliği gibi hastalıklara neden olmaktadır. Hava kirliliği ile ilişkili olarak 70'li ve 80'li yıllarda küresel ölçekte asit yağmurları gündeme sıkça gelmiştir. Asit yağmurlarını oluşturan en önemli etmen, var olan kükürt dioksit ve azot oksitlerin özellikle enerji kaynaklarından açığa çıkan emisyonların atmosferde yapı değiştirmesi, havadaki nem (su buharı, bulutlar) ya da doğrudan yağışla kimyasal tepkimelere girerek yeryüzüne inmesi hem tatlı su kaynaklarında hem de tüm alıcı ortamlarda mevcut ekosistemi olumsuz olarak etkilemesidir (Arı, 2022).

Diğer bir çevresel kirlilik **su kirliliğidir**. Su kirliliği, zararlı maddelerin akarsu, nehir, göl, okyanus gibi su kaynaklarımızı kirletmesi ve kalitesini düşürmesidir. BM SKAların altıncısı "Temiz Su ve Sanitasyon Amacı" herkes için erişilebilir su ve atık su hizmetlerinin ve sürdürülebilir su yönetiminin güvence altına alınmasını vurgulamaktadır. Zira sulara karışan toksik maddeler insan ve çevre sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Su kirliliği; genel olarak enerji, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler ile sanayi ve evsel atıklardan kaynaklanabilmektedir. Kanalizasyon ve kirli fabrika atık sularının arıtılmadan akarsu ve denizlere boşaltılması, evlerden ve sanayi kuruluşlarından çevreye bilinçsizce atılan atıklar (deterjan ve sıvı yağ gibi), hava kirliliği sonucunda havaya karışan zehirli gazların, yağışlarla birlikte yeryüzüne inmesi sonucu yer üstü ve yer altı sularına karışması, petrol taşıma tankerlerinin ve gemilerin denizlere petrol sızdırması ve zehirli atık taşıyan varillerin okyanus diplerine atılması gibi nedenler su kirliliğine neden olmaktadır. İnsan etkinlikleri ile hem yer altı hem yüzey suları kirlenmektedir. Bu kirliliğe iklim değişikliğinin olumsuz etkileri de eklendiğinde bozulan su döngüsü ile hem su kalitesi kötüleşmekte hem de su varlığı/tutarı azalmakta; tatlı su kaynaklarının azalmasıyla birlikte kullanılabilir temiz su kaynakları da tükenmektedir. Özellikle evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan suyun arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmesi, çevresel kirlilik ve sağlık sorunlarının yanı sıra, ekonomik kayıplara neden olmaktadır. 2021 yaz aylarında Marmara Denizi'nde ortaya çıkan **müsilaj sorunu**, kirli ve atık suların arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmesinden kaynaklanmaktaydı (Arı, 2022). WWF (Dünya Doğayı Koruma Vakfı) tarafından plastik atıklar konusunda hazırlanan bir rapor, Akdeniz'in bir "plastik denizi" olma riski ile karşı karşıya kaldığını vurgulamaktadır (WWF, 2018). BM SKAların ondördüncüsü olan **"Suda Yaşam" Amacı** sürdürülebilir kalkınma için okyanusların, denizlerin ve deniz kaynaklarının korunması çağrısında bulunmaktadır. Okyanus ve deniz sağlığının ve biyoçeşitliliğinin korunması için Birleşmiş Milletler, bilim ve iş dünyasını, sivil toplumu ve politika yapıcıları ortak araştırma ve teknolojik yenilik programı etrafında harekete geçirmek ve okyanus bilimlerindeki uluslararası işbirliğini artırmak üzere 2021-2030 dönemini **Uluslararası Okyanus Bilimleri On Yılı** olarak ilan etmiştir [20, 21].



Diğer bir çevresel kirlilik **toprak kirliliğidir**. Toprak, en önemli doğal kaynaklardan birisi olup; tarım dışı amaçlar ile kullanılması, ağır metallerle kirlenmesi ve erozyon sonucu oluşan etkilerle kayıplara uğraması sonucunda verimi düşmekte ya da yok olmaktadır. Kaybedilen toprakların ise yeniden kazanılması çok zordur. Toprağın 1 cm'lik üst tabakası, ancak birkaç yüzyılda oluşabilmektedir. Dünyadaki toprakların ancak 1/10'unda üretim yapılabilmektedir. Toprak kirliliği, temizlenmesi en zor, bazen de hiç mümkün olmayan tehlikeli bir ortam teşkil etmektedir. Toprak kirliliği, katı ve sıvı atıkların çevreye bilinçsizce atılması, tarım ilaçlarının bilinçsizce kullanılması gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Özellikle tarımdaki kimyasal gübre veya tarım ilaçlarının kullanılması, toprak kirliliğini tetikleyebilmektedir. Bununla birlikte belediye ve evsel nitelikli atıklar veya kullanılmayan malzemeler de toprak kirliliği üzerinde bir baskı unsuru oluşturmaktadır. Verimli tarım arazilerindeki depolamalar, tarım arazilerinin tarım dışı faaliyetlerde kullanılması da toprak kirliliğine neden olmaktadır. Sanayiden kaynaklanan atıklar, atık sular, sanayinin atık suları ve sanayinin kanalizasyonu da eğer arıtılmadan karasal eko sistemlere deşarj ediliyorsa toprak kirliliği tetiklenebilmektedir. Diğer taraftan atık su arıtma tesislerindeki arıtma çamuru veya arıtma çamurunun beraberinde getirdiği diğer yan ürünler eğer alıcı ortam üzerinde yeterince analiz edilmeden depolandıysa bu durum da toprak kirliliğine ve arazi kirliliğine neden olabilmektedir. Kömür madenciliği ya da petrol arama, doğal gaz arama faaliyetleri de toprak kirliliğine, arazi kirliliğine neden olmaktadır (Arı, 2022).

İklim değişikliğinin toprak üzerinde önemli etkileri vardır ve arazi kullanımı ile topraktaki değişimler de iklim değişikliğini hızlandırabilir veya yavaşlatabilir. Sağlıklı topraklar olmadan, sürdürülebilir bir arazi ve toprak yönetimi olmadan iklim değişikliği ile mücadele ve gıda üretimi mümkün görünmemektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) dünya toprağının üst 30 cm'sinin tüm atmosferden neredeyse iki kat daha fazla karbon içerdiğini tespit etmiştir. Havadaki karbondioksiti yakalama kabiliyeti açısından toprak; okyanuslardan sonra en büyük ikinci doğal karbon yutağıdır. Bu gerçekler yalnızca gıda üretimi için değil aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadele konusunda sağlıklı toprakların önemini göstermektedir [22].

Hava, su, toprak kirliliğini önlemek için SKAların **onikincisi "Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Amacı"**, ülkeleri sürdürülebilir bir yaşam için sorumlu üretim ve tüketim modelleri geliştirmeye, kaynakların etkili ve verimli kullanımının artırılmasına ve atıkların ve israfın önlenmesine çağırmaktadır. Zira tüketilen mal veya değerlerin üretimi için başta su, hava ve toprak olmak üzere gezegenin kaynakları tüketilmekte ve kirletilmektedir.

Kirliliğin Kontrolü

Kirliliğin kontrolü, mevzuat, düzenleme ve teknolojiler ile mümkündür. Okyanuslar, denizler, atmosfer, ormanlar, sulak alanlar vb. alıcı ortama verilecek atıklar ve emisyonlar açısından **kirlilik standartları** önemlidir. Kirlilik için yasal standartların oluşturulması, bu standartlara uyumun denetlenmesi ve ölçümlenmesi, uymayanlara cezai yaptırımların uygulanması sağlanmalıdır. Standartların yanı sıra iktisadi araçların kullanımı ile çevresel kirliliği azaltacak politikaları geliştirmek mümkündür. Cezai işlemler, düzenlemeler, vergiler, emisyon veya karbon ticareti gibi araçlar kullanılabilir. Hem vergide hem de emisyon ticaretinde iki önemli unsur bulunmaktadır. Birincisi, emisyon veya çevresel kirliliğin salımı yapılan sektördeki durumunun saptanıp izlenmesi ve piyasa değerinin oluşturulmasıdır. İkinci olarak; emisyon ticareti, emisyon vergileri gibi araçların oluşturulmasında çevresel kirleticiler için öncelikle verilerin sağlıklı toplanması, hukuki yapının da bu düzenlemelere uyumlanması ve yaptırımların uygulanması önemlidir (Arı, 2022).

Türkiye'de kirliliğin kontrolüne ilişkin mevzuata örnek olarak Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğini Önleme Yönetmeliği verilebilir. Ankara Gölbaşı'nda bulunan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Sürekli İzleme Merkezi ve merkez bünyesinde çalışmalar yürüten Çevre Referans Laboratuvarı, "Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı", "Evsel ve Endüstriyel Kirlilik İzleme Programı", "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı", "Sürekli Atık Su İzleme



Sistemi” ve “Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi” kapsamında 81 ilde kurulan istasyonlar ile toprak, su ve havanın güncel durumunu izlemektedir [23].

Çevre üzerinde yaratılan olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için **“kullanan öder”** veya **“kirleten öder”** gibi ilkelerin göz önünde bulundurularak çevresel kirliliğin azaltılması, **“sıfır atık”** gibi Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim (SKA12) Amacı ile uyumlu politika, uygulama, program ve eğitimlerin toplum geneline yayılması, ayrıca karbon vergisi ve emisyon ticareti gibi politika araçlarının ülke şartlarına uygun bir şekilde tasarlanması ve uygulanması, kirlilik kontrolünde önemli çalışma başlıkları olabilir.

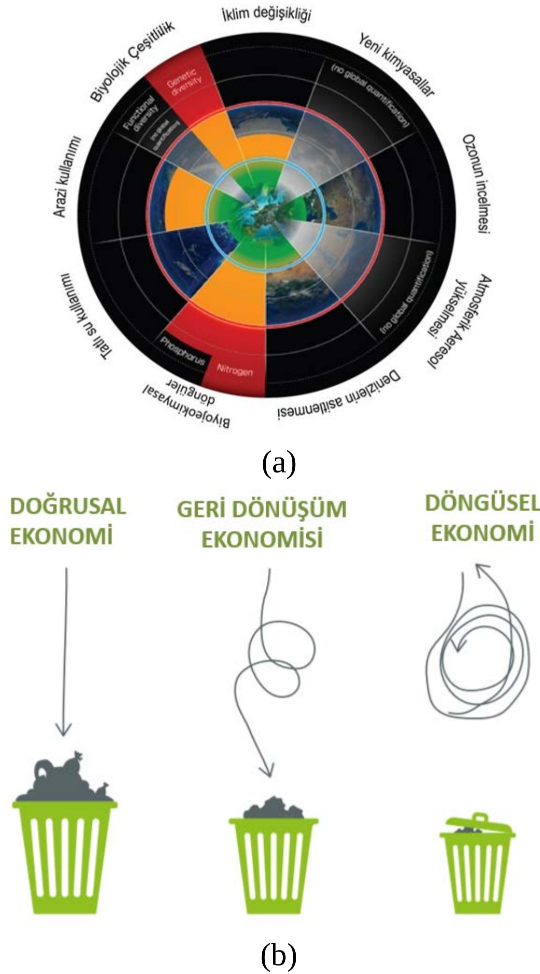
20. ATIK YÖNETİMİ VE SIFIR ATIK

Dünya madde açısından bakıldığında kapalı bir sistemdir. Bir başka deyişle Dünya’da bulunan kaynaklar sınırlıdır. Kaynaklar tükendiğinde yenisini bulmak mümkün değildir. Dünya’da çoğu element kullanabileceğimizden çok daha fazla miktarda bulunur ancak tüm yer kabuğuna dağılmış olan bu elementleri ve bileşikleri çıkartıp kullanıma hazır hale getirmek çok masraflıdır. Bu nedenle *“Dünya’nın kaynakları sınırlıdır”* denmektedir. Sınırlı kaynakların gelecekteki bir teknoloji ile sınırsız hale getirilmesi de pek mümkün görünmemektedir [24].

Dünya’nın sınırlı kaynaklarına artan talepler ve sürdürülebilir bir hayat için ***sıfır atık*** yaklaşımına şiddetle ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çerçevede dünyada ve Türkiye’de “sıfır atık bilinci” gittikçe yaygınlaşmakta; çeşitli uygulamalar hayata geçirilmektedir. Zira nüfusun hızla artması, şehirleşme ve tüketim maddelerinin çeşitlenmesi ile atık miktarı artmakta ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Doğaya bırakılan atıklar, doğa tarafından bir süre sonra temizlenebilse de atık miktarı arttıkça doğanın kendini temizleme gücü azalmakta; biriken atıklar çevreyi olumsuz etkilemektedir.

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları’ndan Açlığa Son (SKA2), Nitelikli Eğitim (SKA4), Temiz Su ve Sanitasyon (SKA6), Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar (SKA11), Sorumlu Üretim ve Tüketim (SKA12), İklim Eylemi (SKA13), Sudaki Yaşam (SKA14) ve Karasal Yaşam (SKA15) Amaçları, atık yönetimi ve sıfır atık konusu ile doğrudan ilgilidir. Bu kapsamda, küresel ölçekte ve her ülkede, 2030’a kadar, atık oluşumunu önleme, azaltma, geri kazanım ve tekrar kullanım yollarıyla atıkların en aza indirilmesi, gıda kayıplarının azaltılması, kişi başına düşen yiyecek israfının yarıya düşürülmesi, açlığın dünyanın her yerinde sonlandırılması, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminin ve verimli kullanımının sağlanması gerekmektedir.

Johan Rockström öncülüğünde bir grup bilim insanının 2009 yılında yayımladığı “Gezegenin Sınırları: İnsanlık İçin Güvenli Alanı Araştırmak” isimli bilimsel makale, gezegenimizde yaşamın sürmesi için 9 kritik eşik belirlemiştir (Rockström, 2009). Bu eşikler, biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği, yeni kimyasallar, ozonun incelmesi, atmosferik aeresol yükselmesi, denizlerin asitlenmesi, biyojeokimyasal döngüler, tatlı su kullanımı, arazi kullanımıdır (Şekil 18a). Eşiklerden 5’i henüz hâlâ güvenli sınırlar içindeyken, iklim değişikliği, biyosfer bütünlüğü ve biyolojik çeşitlilik kaybı, biojeokimyasal döngülerin bozulması ve değişmesi ve arazi kullanımında yapılan değişiklikler olarak belirtilen 4 eşik aşılmıştır [25]. Gezegenin aşılan sınırlarını eski düzeylerine döndürmek için hükûmetlerden özel sektöre, sivil toplum kuruluşlarından bireylere kadar herkese önemli görevler düşmektedir. Sıfır Atık aşılan eşiklerin geriye döndürülmesi veya en azından durdurulmasına doğrudan katkı sağlayabilecek eylemlerden biridir.



Şekil 17. (a) Rokström vd. (2009), Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity (b) Doğrusal ve Döngüsel Ekonomi

Doğa insanların tüketim hızına yetişememekte; ortaya çıkan kirlilikleri temizleyememektedir. Çevreyi kirleten atıklar, gaz, sıvı ve katı halde bulunabilmektedir. Örneğin günümüzün en büyük sorunlarından biri olan ve katı atık kategorisinde değerlendirilen plastik atıklar kontrolsüz bir artış içindedir. Deniz kirliliğinin %80'i karasal kirleticilerden oluşmaktadır. Barselona Sözleşmesi kapsamında yapılan çalışmalar, Akdeniz Havzası'na günde yaklaşık 730 ton plastik ile kirletildiğini ortaya koymaktadır, Plajlardaki deniz atıklarının yüzde 60'ı, tek kullanımlık plastiklerden oluşmaktadır [26]. Veriler denizlerdeki güncel plastik oranının 150 milyon tondan fazla olduğunu belirtmektedir. Bu atıklar denizlerde yaşayan canlıların yaşamını ve suyun temizliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı şekilde doğaya atılan plastik maddeler de uzun yıllar kaybolmadığı için toprak kirliliğine neden olmaktadır. Sanayi tesisleri, taşıtlar ve diğer alanlarda fosil yakıt kullanımı, gaz atıklarının en büyük sebepleri arasındadır. Gaz atıkları başta hava kirliliği olmak üzere küresel ısınma, bitki örtüsünün zarar görmesi, istenmeyen kokular ve yangınlarla çevreye zarar vermektedir (Arı, 2022).

"Sıfır Atık"; israfın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya en aza indirilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasını kapsayan atık yönetim felsefesi olarak tanımlanan bir hedeftir (Sıfır Atık, 2017) [27]. Sıfır atık, atık oluşumunu önlemektir. Sıfır atığın temeli atık oluşmadan önce atık oluşumunu önlemek; atık üretmemektir. Doğada bir canlının atığı diğer bir canlının besinidir. Atık kavramı modern yaşamın yarattığı bir kavram olup; doğa için geçerli değildir. Sistemler doğru kurulduğunda



doğanın bir parçası olan insanların fazla atık üretmeden yaşaması mümkündür. Modern yaşamda kurgulanan sistem doğrusal ekonomiye dayanmaktadır. Gezegenin sınırlarının aşılmasına yol açan insanlığın bugün içinde yaşadığı sistem, **doğrusal ekonomi** döngüsüne dayanmakta olup sürdürülebilir değildir. Doğrusal ekonomide ham madde doğadan temin edilir; kullanılacak malzeme üretilir, kullanılır sonra da hepsi tekrar atık olarak doğaya atılır. Atık üretmeden yaşayabilmek için doğrusal ekonomi anlayışını **döngüsel bir yapıya** kavuşturmak gerekmektedir. Döngüsel ekonomi; hammadde temininden itibaren, üretim, kullanım, dönüşüm ve yeniden dönüşümü esas almayı ifade eden üretim ve tüketim modelidir (Şekil 18b).

İsrafı azaltmak ve çevreyi korumak amacıyla Türkiye'de 2017'den beri **Sıfır Atık** başlığını taşıyan bir atık politikası yürütülmektedir. Sıfır atık politikası kapsamında israfın önlenmesi, kaynakların daha verimli kullanılması, atık miktarının azaltımı ve oluşan atığın geri dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Sıfır Atık anlayışı, tüketicilerin tüketim alışkanlıklarını, atık oluşumuna sebep olan tüketimlerini gözden geçirmelerini, atık çıkarmanın azaltması ve atıkları değerlendirme konusunda insanlara yeni bir bilinç kazandırmayı hedeflemektedir. İlk sıfır atık uygulaması Cumhurbaşkanlığı Külliyesi ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nda başlamış; ardından kamu kurumları başta olmak üzere limanlar, havaalanları, otogarlar, tren garları, eğitim kurumları, alışveriş merkezleri, hastaneler ve turizm tesisleri gibi kalabalıkların yoğun olduğu noktalarda adım adım proje yaygınlaştırılmıştır. 2017'den bu yana, sıfır atık yönetim sistemini uygulamaya başlayan kurum ve işletme sayısı 140 bine ulaşmıştır. Projenin hayata geçirildiği 2017'den 2022 yılı Ocak ayına kadar geçen sürede toplam 24.2 milyon ton geri kazanılabilir atık ekonomiye kazandırılmıştır. Bunun 16,5 milyon tonunu kâğıt-karton atıkları oluşturmuştur. 4.1 milyon ton plastik, 1.7 milyon ton cam, 0.4 milyon tonun metal atıktan ekonomik kazanç elde edilmiştir. Geri dönüşümü sağlanan atıkların 1.5 milyon tonu da organik ve diğer geri dönüştürülebilir atıklardan oluşmuştur. Projenin ilk başladığı 2017 yılında geri kazanım oranı yüzde 13 olup; halkın da bilinçlenmesiyle 2020 yılında bu oran yüzde 22.4'ye yükselmiştir. 2023 hedefi ise bu oranı yüzde 35'e kadar çıkarmaktır [28, 29]. Sıfır Atık Projesi kapsamında devam eden "Sıfır Atık Mavi" çalışması ile deniz ve kıyıların korunması da ulusal bir öncelik haline getirilmiştir [30]. Sıfır Atık Mavi Hareketi, denizlerin, akarsuların, göllerin korunması için Türkiye'nin deniz koruma seferberliğidir [31].

Özetle, tüm sektörlerde, kamu, kurum ve kuruluşlarında, iş dünyasında, yerel yönetimlerde, sıfır atık yaklaşımının temel alınması ve sürdürülebilir bir biçimde uygulanması ile atık oluşumunun önlenmesi, kaynakların verimli kullanılması, temiz üretim teknolojileri ile üretim yapılması, israfın önüne geçilerek maliyetlerin azaltılması, çevresel risklerin azalması, kurumlarda "çevre ve duyarlı tüketici" bilincinin gelişmesi, çevreci kurumların saygınlığının artması, atmosfer, hava, su ve toprak kirliliğinin ve iklim değişikliğine bağlı sorunların daha düşük maliyetler ile önlenmesi mümkündür. Sıfır atıkta en önemli etken, tüm paydaşların işbirliğiyle çalışmalarının gerçekleştirilmesidir. Bu noktada etkin ve verimli eğitim ve farkındalık çalışmaları tüm paydaşlarla birlikte yürütülmelidir